блиотека
ЛЕКТРОМОНТЕРА

И. С. ЗВЕНИГОРОДСКИЙ

конденсаторы связи и отбора мощности

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 278

И. С. ЗВЕНИГОРОДСКИЙ

КОНДЕНСАТОРЫ СВЯЗИ И ОТБОРА МОЩНОСТИ

«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1969

6П2
З43
УДК 621.319.4

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Звенигородский И. С.
З 43 Конденсаторы связи и отбора мощности. М., «Энергия», 1969.
64 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 278)

В брошюре описаны конденсаторы высокого напряжения, применяемые для образования каналов высокочастотной защиты, связи и телемеханики, и конденсаторы, используемые для емкостного отбора мощности.

Рассмотрены области применения и способы монтажа этих конденсаторов в распределительных устройствах подстанций.

Описываются методы эксплуатации, выполнения текущих ремонтов и приемо-сдаточных и эксплуатационных измерений этих конденсаторов.

Брошюра рассчитана на монтеров, занятых монтажом и эксплуатацией подстанций, но может быть использована монтерами, обслуживающими устройства высокочастотной защиты, связи и каналов телемеханики.

3-3-9

106-69

Звенигородский Иосиф Соломонович
Конденсаторы связи и отбора мощности
Редактор *И. И. Лобысева*
Технический редактор *Л. В. Иванова* Корректор *И. С. Соколова*

Сдано в набор 12/XI 1968 г. Подписано к печати 20/IX 1969 г. Т-11547
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 3,48
Тираж 12 000 экз. Цена 13 коп. Зак. 1573

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Коммунистическая партия и Правительство Советского Союза уделяют большое внимание развитию энергетики. Наращиваются энергетические мощности, вводятся новые гигантские электростанции, расширяются электрические сети, появляются новые подстанции, включается новое оборудование. Освоение этого оборудования является первейшей задачей обслуживающего персонала.

Правильно монтировать и эксплуатировать энергетическое оборудование можно, только имея ясное представление о его назначении, конструкции и способах монтажа и эксплуатации.

Почти на всех подстанциях высокого напряжения установлены конденсаторы напряжением выше 1 000 *в*, о которых написана эта брошюра. Конденсаторы становятся непременным элементом оборудования подстанций.

Данная брошюра не является инструкцией по монтажу и эксплуатации конденсаторов высокого напряжения, но содержит все сведения, необходимые электромонтеру для сознательного и грамотного выполнения монтажных и эксплуатационных работ.

Назначение. Конденсаторы связи устанавливаются на подстанциях высокого напряжения для нескольких назначений[1]. С помощью конденсаторов связи образуют каналы высокочастотной защиты, телефонной связи, каналы для передачи сигналов телемеханики и сигнализаторов гололеда. Другое применение конденсаторов — устройства для отбора мощности от линий электропередачи без трансформаторов высокого напряжения.

Использование высоконадежных линий электропередачи для нужд защиты, связи и телемеханики отличается тем, что, кроме токов сигналов, по проводам линии нормально протекают большие токи при очень больших напряжениях — от десятков до сотен киловольт. Непосред-

[1] Конденсаторные установки для повышения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в этой брошюре не рассматриваются.

ственно подключать к таким линиям «слаботочные» аппараты связи нельзя. Они не выдержат ни действующих в линии токов, ни напряжений.

Токи и напряжения каналов связи отличаются от основных токов и напряжений, действующих в линиях электропередачи, не только по величине, но и по частоте. В линиях электропередачи протекают токи промышленной частоты 50 *гц*, а токи в каналах связи имеют частоту от 30 до 500 *кгц*[1]. Это отличие используется для выделения сигналов связи, передаваемых по линиям электропередачи. Выделение производится с помощью конденсаторов, подключаемых непосредственно к линии электропередачи.

Как известно, сопротивление конденсатора зависит от частоты протекающего через него тока. Чем выше частота, тем меньше сопротивление конденсатора; с уменьшением частоты тока сопротивление конденсатора увеличивается. В самом деле, сопротивление конденсатора R_C можно подсчитать по формуле

$$R_C = \frac{1\,000\,000}{2\pi fC},\ ом,$$

где π — постоянное число, равное 3,14;

f — частота тока, *гц*;

C — емкость конденсатора, *мкф*.

Если подсчитать по формуле сопротивление конденсатора емкостью 0,01 *мкф* при частоте 50 *гц*, то окажется, что оно равно 320 000 *ом*, а сопротивление того же конденсатора, но при частоте 100 *кгц* будет равно 160 *ом*.

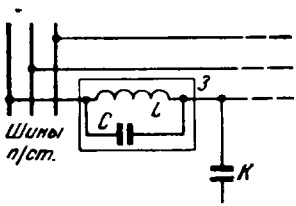

Рис. 1. Схема включения конденсатора связи K и заградителя $З$ с силовой катушкой L и конденсатором настройки C.

Очевидно, что при частоте тока 100 *кгц* сопротивление конденсатора в 2 000 раз меньше, чем при частоте тока 50 *гц*. На этом и основана одновременная передача электрической энергии и сигналов связи по общим проводам линий электропередачи. Через конденсатор связи K, подключенный непосредственно к проводам линии электропередачи (рис. 1), проходят в основ-

[1] 1 *кгц* = 1 000 *гц*.

ном только токи высокой частоты каналов связи. Утечку этих токов через шины подстанции предотвращают высокочастотные заградители $З$, устроенные как резонансные контуры из силовой катушки L и конденсатора C. Высокочастотные заградители представляют для токов высокой частоты большое сопротивление и задерживают их.

Сильные токи с частотой 50 *гц* проходят через высокочастотный заградитель на шины подстанции почти без потерь. Эти токи практически не ответвляются через

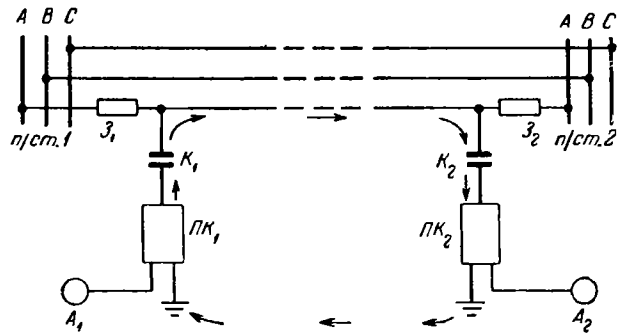

Рис. 2. Принципиальная схема канала высокочастотной связи по линии электропередачи.

К — конденсатор связи; *ПК* — полукомплект высокочастотной связи; *З* — заградитель; *А* — аппарат.

конденсатор связи (ток ответвления не превышает 1 *а*) и благодаря дополнительным устройствам не вносят помех в каналы связи.

Способ применения. Принципиальная схема передачи сигналов связи приведена на рис. 2. Сигнал высокочастотной защиты или телефонной связи из аппарата A_1 на подстанции *1* передается в полукомплект высокочастотной связи $ПК_1$, в котором преобразовывается в токи высокой частоты. Эти токи через конденсатор K_1 попадают в провод фазы *А* линии электропередачи. По линейному проводу токи высокой частоты проходят до подстанции *2* и через конденсатор связи K_2 попадают в полукомплект $ПК_2$ и далее в аппарат A_2. Токи высокой частоты после полукомплекта $ПК_2$ возвращаются в полукомплект $ПК_1$ на подстанции *1* через землю.

Путь токов высокой частоты в схеме передачи сигнала показан на рис. 2 стрелками. В передаче участвуют

токи одной, двух или нескольких частот в диапазоне от 30 до 500 *кгц*.

Для улучшения условий передачи сигналов, исключения влияния тока промышленной частоты и изоляции цепей связи от конденсатора связи между полукомплектом высокочастотной связи и нижней обкладкой конденсатора связи включается аппарат, называемый фильтром присоединения *ФП*, по схеме, показанной на рис. 3.

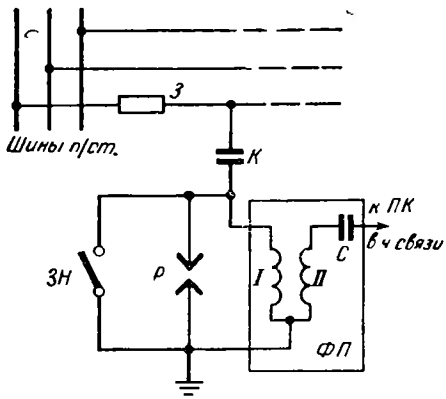

Рис. 3. Схема включения фильтра присоединения.

ФП фильтр присоединения: *С* — конденсатор настройки; *ЗН* — заземляющий нож; *Р* — разрядник.

Токи высокой частоты, проходя через обмотку *I* фильтра присоединения, трансформируются в обмотку *II*, а из нее попадают по однопроводной линии в полукомплект высокочастотной связи. Токи с частотой 50 *гц* проходят через обмотку *I* в землю. Сопротивление обмотки *I* для этих токов очень мало, не превышает нескольких *ом*, и падение напряжения с частотой 50 *гц* настолько невелико, что его можно не учитывать. Фильтр присоединения специально настраивается на частоты, передаваемые в канале связи.

Из рассмотрения схемы связи на рис. 3 ясно, что на конденсатор связи падает полное фазное напряжение линии электропередачи. Такое же напряжение возникает на нижней обкладке конденсатора, если от нее отклю-

чить заземление. Для обеспечения безопасности персонала согласно правилам техники безопасности работать разрешается только при заземленной нижней обкладке конденсатора. Такое заземление выполняется постоянно смонтированным заземляющим разъединителем *ЗН*. От случайных перенапряжений, могущих возникнуть в линии электропередачи (например, при ударе молнии), людей и аппаратуру в каналах связи защищают разрядником *Р* на напряжение до 3 *кв*. Разрядник включается между вводом в фильтр присоединения и землей.

Как видно из схемы на рис. 3, нижняя обкладка конденсатора связи должна заземляться в нормальном режиме через обмотку *I* фильтра присоединения, поэтому конденсатор связи изолируется от конструкции, на которой его устанавливают специальной изолирующей подставкой. Если бы изолирующей подставки не было, то токи высокой частоты замыкались бы через землю, не заходя в аппаратуру каналов связи.

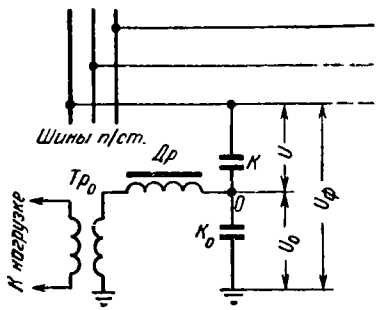

Рис. 4. Принципиальная схема конденсаторного отбора мощности.

Конденсаторы используются также для отбора мощности от линий электропередачи без установки трансформаторов высокого напряжения малой мощности. Такой отбор называется конденсаторным отбором мощности. Отбор мощности устраивается на линейных подстанциях, не имеющих низкого напряжения для питания некоторых цепей релейной защиты, аппаратов связи, обеспечения электроэнергией монтерских пунктов и других нужд.

Конденсаторным отбором можно получить мощность от нескольких сотен ватт до десятков киловатт.

При конденсаторном отборе мощности (рис. 4) между фазным проводом линии электропередачи и землей включаются два последовательно соединенных конденсатора *К* и K_0. Поскольку нижняя обкладка конденсатора K_0 заземляется, на оба конденсатора приходится полное фазное напряжение линии электропередачи, а конденсаторы *К* и K_0 образуют делитель напряжения с отводом в месте соединения конденсаторов между собой. Напря-

жение между конденсаторами распределяется обратно пропорционально их емкости, т. е.

$$\frac{U}{U_0}=\frac{C_0}{C},$$

где U и U_0 — падения напряжения на конденсаторах K и K_0;

C и C_0 — соответственно емкости конденсаторов K и K_0.

Емкость конденсатора K_0 выбирается значительно большей, чем у конденсатора K, чтобы на него приходилось только 10—20% фазного напряжения.

Между точкой соединения конденсаторов K и K_0 (точка O на рис. 4) и землей включается трансформатор отбора мощности Tp_0 с коэффициентом трансформации, например, 10/0,4 *кв*. Напряжение на обмотке высшего напряжения трансформатора равно падению напряжения на конденсаторе K_0. С вторичной обмотки трансформатора снимают напряжение, которое направляют непосредственно к потребителю.

Для улучшения электрических свойств схемы отбора мощности между точкой O и обмоткой высшего напряжения трансформатора включается дроссель $Др$ со стальным сердечником. Параметры дросселя выбирают в зависимости от потребляемой мощности всей установки.

На рис. 5 показана полная схема установки конденсаторного отбора мощности. Она во многом напоминает схему включения аппаратуры каналов связи. В схеме отбора мощности участвует заземляющий разъединитель $ЗН_0$, разъединитель, отключающий всю установку от конденсатора $Р_л$, и разрядник $Р_0$, предохраняющий оборудование от случайных перенапряжений в линии электропередачи. Через трансформатор тока $ТТ$ включается релейная защита оборудования отбора мощности.

На многих подстанциях устраиваются как установки для отбора мощности, так и аппаратура высокочастотной связи по линии электропередачи. В таких случаях для обоих устройств используют общие конденсаторы связи по схеме, показанной на рис. 6.

Для совместного действия с аппаратурой связи оборудование отбора мощности отделяют от конденсаторного делителя напряжения высокочастотным заградителем $З$, запирающим путь для токов высокой частоты из

каналов связи. Эти заградители сходны с заградителями *З*, включенными в провода линий электропередачи. При включенном заградителе *З* в установке отбора мощности можно производить любые операции, не нарушая действия каналов защиты и связи.

Емкость конденсаторов K_0 обычно значительно больше, чем у конденсаторов *К*, а рабочее напряжение меньше. Для отбора мощности промышленность выпускает специальные конденсаторы.

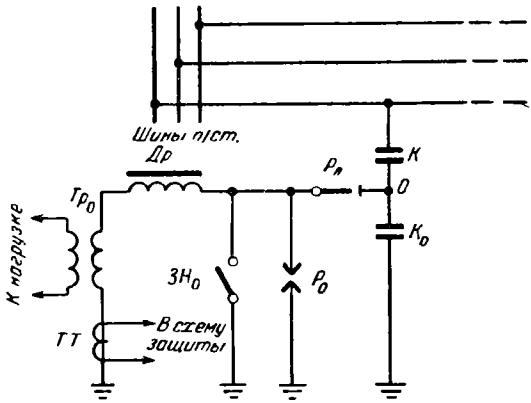

Рис. 5. Полная схема устройства конденсаторного отбора мощности.

К и K_0 — конденсаторы; $Р_л$ — линейный разъединитель; *Др* — дроссель; $ЗН_0$ — заземляющий нож; $Р_0$ — разрядник; $Тр_0$ — трансформатор силовой; *ТТ* трансформатор тока.

Экономически конденсаторный отбор мощности становится выгодным лишь при напряжении 110 *кв* и больше. Отбор мощности на подстанциях с напряжением ниже 110 *кв*, например 35 *кв*, производится через понижающие трансформаторы.

Сигнализаторы гололеда *СГ* — это механические устройства, сигнализирующие об образовании гололеда на проводах линии электропередачи. Устанавливают сигнализаторы гололеда как у подстанций, так и на расстоянии в несколько километров. Передачу сигнала от удаленного сигнализатора гололеда производят токами высокой частоты по проводам контролируемой линии электропередачи. Передатчик сигнализатора гололеда подсоединяется к проводам линии электропередачи на

одной из промежуточных опор через конденсатор связи. Схема подключения всей установки отличается от присоединения аппаратуры высокочастотной защиты или связи только отсутствием высокочастотного заградителя.

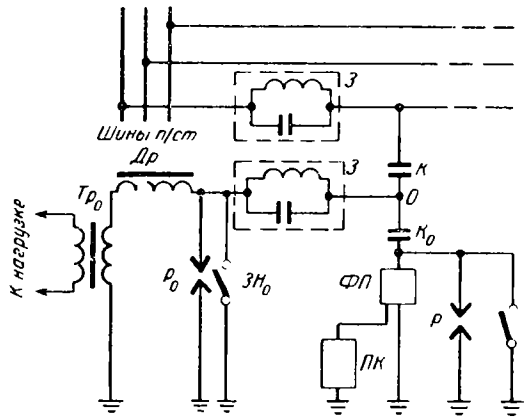

Рис. 6. Схема совместного подключения аппаратов связи и конденсаторного отбора мощности (обозначения, как на рис. 3 и 5).

2. КОНСТРУКЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Устройство. Конденсаторы связи, как и другие конденсаторы, состоят из токопроводящих обкладок, разделенных изолирующей прокладкой. Конденсаторы, предназначенные для относительно низких напряжений (несколько сотен вольт), так и выполняются. Между двумя тонкими, но широкими металлическими лентами (обкладками) прокладывается слой тонкой изолирующей бумаги. От каждой из металлических лент делают вывод и полученный таким образом конденсатор сворачивают, изолируя отдельные витки между собой, в круглую или плоскую секцию, как показано на рис. 7. Конденсаторы, предназначенные для использования в виде отдельных секций, вкладывают в футляр и, припаяв выводы *а* и *б* к жестким лепесткам, выпускают для использования в аппаратах.

В конденсаторах связи напряжением выше 1 000 *в* секции не вкладывают в футляры, а собирают (связы-

вают) из них пакеты по 60—80 секций в каждом пакете. Секции в пакете соединяют последовательно. Пакеты, соединенные между собой параллельно, объединяют в группы. Из групп, параллельно и последовательно соединенных, собирают элемент конденсатора, готовый для монтажа на подстанции.

На рис. 8 показаны примерные схемы группы (рис. 8,*а*) и элемента конденсатора (рис. 8,*б*).

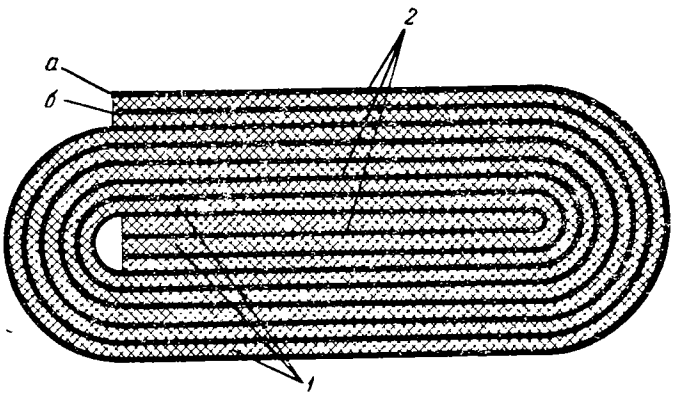

Рис. 7. Конденсаторная секция.

1 — бумажная изоляция; *2* — металлические обкладки; *а*, *б* — выводы секции.

Если известна емкость одной секции $C_с$, то емкость пакета $C_п$ при количестве последовательно соединенных секций в пакете K можно определить по формуле

$$C_п = \frac{C_с}{K}, \text{ мкф}.$$

Емкость группы $C_г$ при количестве параллельно соединенных пакетов в группе m можно определить по формуле

$$C_г = mC_п, \text{ мкф}.$$

Емкость элемента конденсатора $C_э$ при количестве групп в элементе, равном n, можно определить по формуле

$$C_э = \frac{C_г}{n}, \text{ мкф}.$$

В общем виде емкость конденсаторного элемента можно подсчитать по формуле

$$C_э = \frac{mC_c}{Kn},\ мкф.$$

Пример 1. Конденсаторный элемент содержит 2 группы по 3 пакета в группе (рис. 8,*б*). В каждом пакете по 75 секций. Емкость одной секции равна 0,7 *мкф*. Нужно определить емкость конденсаторного элемента.

Решение:

$$C_c = 0{,}7\ мкф;\ K = 75;\ n = 2;\ m = 3.$$

$$C_э = \frac{mC_c}{Kn} = \frac{3 \cdot 0{,}7}{75 \cdot 2} = 0{,}014\ мкф.$$

Металлические обкладки конденсаторных секций изготовляют из алюминиевой фольги толщиной около 7,5 *мк*[1]. Обкладки изолируют друг от друга конденсаторной бумагой толщиной 10—15 *мк*. Бумагу прокладывают

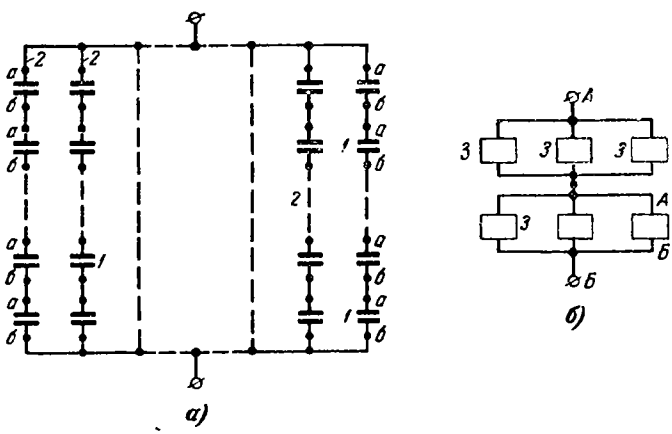

Рис. 8. Схема соединения внутри элемента конденсатора.
а — схема группы; *б* — схема элемента конденсатора; *1* — конденсаторная секция; *2* — пакет из конденсаторных секций; *3* — группа.

в шесть - восемь слоев. Для того чтобы металлические обкладки из разных слоев секции не замыкались по краям секции между собой, бумажную прокладку делают на 20 *мм* шире фольги. Благодаря этому фольга оказы-

[1] 1 *мк* (один микрон) равен одной тысячной доле миллиметра, 1 *мм* = 1 000 *мк*.

бается глубоко скрытой между слоями бумажной прокладки.

Собранные в пакеты и группы конденсаторные секции скрепляют, помещают внутрь фарфоровой покрышки и заливают сухим трансформаторным маслом.

Изолятор элемента конденсатора — покрышка — имеет цилиндрическую форму и герметически закупоривается двумя стальными крышками.

Кроме конденсаторных секций, в верхней части изолятора помещается расширитель, необходимый для компенсации влияния температурных колебаний окружающего воздуха. Элементы конденсатора устанавливаются, как правило, в открытых распределительных устройствах и подвержены большим колебаниям температуры. При изменениях температуры внешнего воздуха изменяется и температура масла, заключенного в конденсаторе. При повышении температуры масло в конденсаторе расширяется и внутри фарфоровой покрышки конденсатора могут возникнуть недопустимые давления. При резком снижении окружающей температуры давление масла внутри конденсатора может сильно уменьшиться, что также нежелательно, так как масло всегда должно быть под небольшим избыточным давлением относительно атмосферного. От резких колебаний давления масла конденсатор защищается расширителем, который содержит несколько мембранных коробок. Каждая из них состоит из двух сваренных стальных тарельчатых мембран, между которыми находится воздух. Мембраны сварены плотно и воздух, заключенный между мембранами, не может соединиться с воздухом или маслом, находящимся вне мембранной коробки.

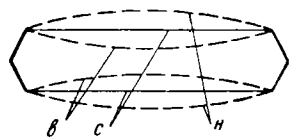

Рис. 9. Положение мембран расширителя при изменении давления.

с — среднее положение; *в* — при повышенном давлении; *н* — при пониженном давлении.

При нормальном давлении мембраны занимают среднее положение, показанное на рис. 9 сплошной линией и отмеченное буквой *с*. Повышение температуры окружающего масла и связанное с этим увеличение давления изогнут мембраны, как отмечено буквой *в* на рис. 9. Объем расширителя уменьшится и для расширения масла появится дополнительное пространство. Снижение тем-

пературы будет сопровождаться уменьшением объема масла и его давления. Мембраны расширителя под давлением находящегося между ними воздуха изогнутся в обратную сторону (положение *н* на рис. 9) и снова внутри конденсатора установится нормальное состояние. Такая конструкция защищает изолятор конденсатора и его армировку от недопустимых механических напряжений, поддерживает избыточное давление масла в нужных пределах, что очень важно для поддержания качества изоляции конденсатора. В каждом конденсаторном элементе бывает до 10 мембранных коробок.

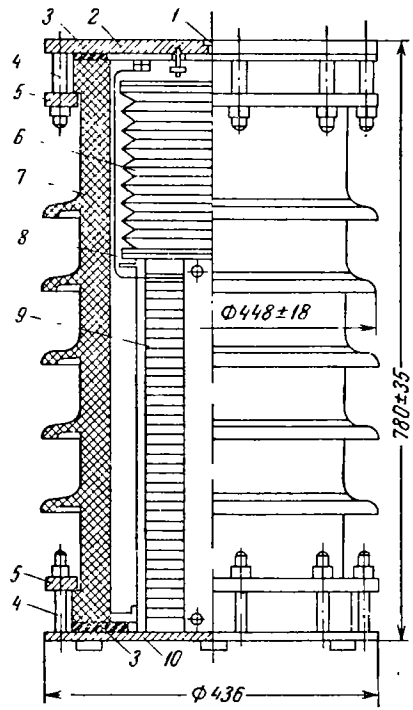

Рис. 10. Общий вид элемента конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044.

1 — винт; *2* — верхняя крышка; *3* — уплотнительное резиновое кольцо; *4* — болт; *5* — кольцо; *6* — расширители; *7* — фарфоровая покрышка; *8* — диск из электрокартона; *9* — пакет из конденсаторных секций; *10* — нижняя крышка.

Пакеты и группы конденсаторных секций и мембранные коробки расширителей конструктивно соединены между собой и составляют выемную часть конденсаторного элемента.

Выемная часть конденсатора вставляется в фарфоровый полый изолятор (покрышку), имеющий на своей внешней поверхности юбки, предназначенные для увеличения пути токов утечки и разряда по поверхности изолятора. Фарфоровая покрышка снабжена на торцах расширениями, на которые опираются два кольца. Кольцо, опирающееся на плечо расширения фарфоровой покрышки, болтами крепится к плоским стальным крышкам. В верхней крышке конденсатора имеются две резь-

бовые пробки для масла, которые по окончании операций с маслом опаиваются. Между крышками и фарфоровой рубашкой помещают уплотнительные прокладки из специальной морозоустойчивой и маслостойкой резины. Уплотнение обеспечивает герметичность конструкции конденсатора и улучшает механические условия соединения стальных крышек с фарфором.

Стальные крышки выполняют не только механические функции, но являются выводами конденсатора и на них имеются болты для присоединения подводящих проводов.

На рис. 10 показан для примера элемент конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044.

Электрические свойства. Конденсаторы включаются непосредственно между фазным проводом и землей и должны обладать надежной изоляцией, выдерживающей высокие рабочие напряжения. У них должен быть также большой запас прочности изоляции, позволяющий выдерживать, не пробиваясь, случайные кратковременные (импульсные) повышения напряжения, например при ударе молнии. Этот запас превышает рабочее напряжение элемента конденсатора в 4—5 раз и более. Повреждение конденсатора грозит разрушением аппаратуры защиты или связи, поражением людей, работающих у этой аппаратуры, и является аварией, связанной с отключением линии электропередачи.

Рабочим напряжением конденсаторного элемента называют действующее напряжение, под которым конденсатору нужно находиться долгое время — месяцы, годы, столько же, сколько и другому оборудованию данного присоединения — трансформаторам, выключателям и др.

Конденсаторы подвергаются испытаниям повышенным напряжением, которым определяют исправность и надежность их изоляции. Такое повышенное напряжение называют испытательным напряжением.

Необходимый уровень рабочего напряжения определяется в зависимости от напряжения линии электропередачи, к которой должен подключаться конденсатор.

Высокая изоляция элемента конденсатора достигается в первую очередь последовательным включением конденсаторных секций в пакетах. Предположим, что одна секция может в течение длительного времени выдерживать напряжение 600 *в* и пятикратное испытательное напряжение (600·5=3 000 *в*). Тогда пакет из 70 после-

довательно включенных секций может длительно находиться под напряжением $600 \cdot 70 = 42\,000$ *в* и выдержать испытательное напряжение $600 \cdot 70 \cdot 5 = 210\,000$ *в*. Параллельное включение нескольких пакетов из такого же количества секций увеличит емкость, но не изменит рабочего напряжения группы. При последовательном соединении групп рабочее напряжение увеличивается во столько раз, сколько включено групп.

Пример 2. Определить рабочее и испытательное напряжение конденсаторного элемента, собранного по схеме рис. 8,*б*, при рабочем напряжении одной секции 600 *в*, трехкратном испытательном напряжении и количестве секций в пакете 75.

Решение: Рабочее напряжение одного пакета, равное рабочему напряжению одной группы, равно: $U_{р.п} = 75 \cdot 600 = 45\,000$ *в*. Рабочее напряжение элемента конденсатора, имеющего две группы, равно: $U_{р.э} = U_{р.г} \cdot 2 = 45\,000 \cdot 2 = 90\,000$ *в* $= 90$ *кв*.

Испытательное напряжение элемента конденсатора равно: $U_{и.э} = U_{р.э} \cdot 3 = 90 \cdot 3 = 270$ *кв*.

Конденсаторные секции изготавливают строго одинаковыми, с одинаковой емкостью и одинаковыми рабочими напряжениями. Значительное различие емкостей отдельных секций снижает надежность конденсатора. Уменьшение емкости или потеря емкости несколькими секциями в готовом конденсаторе может произойти из-за частичного или полного замыкания витков. В этих случаях происходит перераспределение напряжения между секциями внутри пакета. На секциях с пониженной емкостью напряжение уменьшается, а на исправных секциях напряжение повышается и может достигнуть опасного уровня, особенно при перенапряжениях в линиях электропередачи. Чем больше в пакете неисправных секций, тем больше напряжение на секциях, оставшихся исправными. Состояние соседних пакетов в группе на этот процесс не влияет. Повреждение конденсаторного элемента всегда возникает в одном из его пакетов.

Изоляционные материалы конденсаторных секций обладают высокими диэлектрическими свойствами. Напряженность электрического поля в бумажно-масляной изоляции достигает 30 *кв/мм* и более. В конструкции принимаются специальные меры, чтобы предотвратить попадание в конденсатор влаги.

Масляная изоляция. После сборки элемент конденсатора на заводе заливают сухим трансформаторным маслом, значительно улучшающим свойства основного изоляционного материала элемента — конденсаторной бумаги. После пропитки хорошим трансформаторным маслом

электрические свойства бумаги как изолятора очень изменяются. Электрическая прочность возрастает в 2—2,5 раза, благодаря чему конденсаторные секции выдерживают большое напряжение или появляется возможность уменьшить изолирующий слой бумаги; удельное сопротивление изоляции (бумаги) становится во много раз больше и уменьшается утечка через конденсатор. Такие свойства бумажной изоляции можно получить только при пропитке бумаги сухим трансформаторным маслом, не воспринявшим влаги из воздуха, чистым, не засоренным различными примесями и осадками. Поэтому элементы конденсатора прибывают с конденсаторного завода залитыми очищенным, свежим и сухим маслом.

Для заливки конденсаторов применяют особо очищенное трансформаторное масло (конденсаторное масло) по ГОСТ 5775-51. Это масло имеет пробивное напряжение не менее 60 *кв* в стандартном разряднике при расстоянии между электродами 2,5 *мм*, кислотное число его должно быть не более 0,02 *мг* КОН, натриевая проба 1 балл и тангенс угла диэлектрических потерь при температуре 70° С не более 0,3% при напряженности 1 *кв/мм* и частоте 50 *гц*. Подробно о тангенсе угла диэлектрических потерь написано в конце раздела «Монтаж конденсаторов». По всем остальным показателям масло должно удовлетворять требованиям ГОСТ 982-56 на трансформаторное масло.

Сохранение масла в элементе конденсатора длительное время в хорошем состоянии может быть достигнуто высокой герметичностью конденсатора. Герметичность обеспечивается хорошим уплотнением между его крышками и фарфоровой покрышкой, тщательной заделкой всех отверстий в покрышках элемента конденсатора.

Из этих соображений без крайней нужды не следует вскрывать конденсаторы или открывать пробки в их крышках.

Изолирующие подставки. Если установить конденсатор нижней крышкой первого элемента непосредственно на опорную заземленную конструкцию, то его нижняя обкладка окажется сразу же наглухо заземленной, а токи высокой частоты, минуя аппаратуру связи, уйдут в землю. Поэтому своей нижней токоведущей крышкой конденсатор всегда устанавливается на специальной изолирующей подставке, чертеж которой приведен на рис. 11.

Подставка выполняется в виде полой фарфоровой покрышки, имеющей тот же диаметр, что и покрышка опирающегося на нее элемента конденсатора. Подставка армируется двумя крышками, из которых на верхнюю опирается конденсатор, а нижней подставка крепится к опорной конструкции или фундаменту.

Типы конденсаторов. Отечественная промышленность изготовляет несколько типов конденсаторов высокого напряжения и изолирующих подставок для них. Выпускаемые конденсаторы различаются по назначению (для связи или для отбора мощности), по напряжению линии электропередачи (по классу изоляции линии), на которой конденсатор может быть установлен, и по электрической емкости его. Все эти свойства конденсаторов находят отражение в его заводской марке.

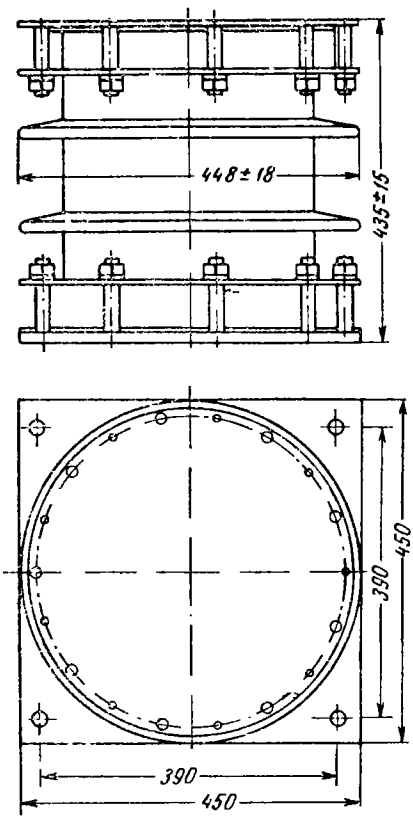

Рис. 11. Изолирующая фарфоровая подставка к конденсатору связи из элементов типа СМР-55 /$\sqrt{3}$-0,0044.

Первые три буквы, входящие в марку, расшифровываются следующим образом. Буква С обозначает, что конденсатор предназначен для включения аппаратуры связи, буква О — что конденсатор предназначен для устройства отбора мощности в качестве нижнего элемента, буква М обозначает, что конденсатор с масляным наполнением, буква Р свидетельствует о наличии расширителя. В марке конденсаторов для отбора мощности к буквенному обозначению примыкает цифра (1, 2 или 3), указывающая

на тип применяемой для конденсатора фарфоровой покрышки. В первой группе цифр приведено рабочее напряжение конденсатора. Для конденсаторов связи это обозначение состоит из дроби, в числителе которой приведено линейное напряжение (класс изоляции) линии электропередачи, а в знаменателе показан коэффициент для перевода из линейного в фазное напряжение $\sqrt{3}$.

В результате деления цифры из числителя на $\sqrt{3}$ получается фазное напряжение линии электропередачи, являющееся рабочим номинальным напряжением, на которое рассчитан конденсатор. В самом деле, на конденсатор, включенный между фазным проводом и землей, приходится не линейное, а фазное напряжение, которое меньше линейного в $\sqrt{3}$ раз.

Величина $\sqrt{3}=1{,}73$. Поэтому для определения рабочего напряжения конденсатора числитель следует разделить на 1,73. Указанные в марке величины линейного напряжения (класса изоляции присоединения) представляют удобство при выборе элементов конденсаторов, так как в технической документации упоминается всегда не фазное напряжение, а класс изоляции (линейное напряжение) линии электропередачи.

В третьей группе цифр марки конденсаторов высокого напряжения приводится емкость элемента конденсатора в микрофарадах.

Марка конденсаторов для отбора мощности отличается лишь тем, что в ней показывают только рабочее напряжение элемента конденсатора, так как он включается не непосредственно к проводу линии электропередачи, а в качестве дополнительного элемента к конденсатору связи данного присоединения.

Рассмотрим для примера две марки элементов конденсаторов.

Пример 3. 1. Расшифровать марку элемента конденсатора СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044. Марка расшифровывается следующим образом: конденсатор *связи*, с *масляным* заполнением, оборудованный *расширителем*, для подсоединения к оборудованию с классом изоляции 55 *кв*, с собственным рабочим напряжением $55/\sqrt{3}=\frac{55}{1{,}73}=31{,}8$ *кв*, с собственной номинальной емкостью 0,0044 *мкф*.

2 Расшифровать марку элемента конденсатора ОМР3-35-0,0535. Марка расшифровывается следующим образом: конденсатор *отбора*

мощности, с *масляным* заполнением, оборудованный *расширителем* тип фарфоровый покрышки 3, рабочее напряжение 35 *кв*, с номинальной емкостью 0,0535 *мкф*.

В табл. 1 приведены типы элементов конденсаторов связи в фарфоровых покрышках, выпускаемых нашей промышленностью, и их основные свойства.

Таблица 1

Электрические свойства элементов конденсаторов

Тип конденсаторного элемента	Напряжение (класс изоляции) линии электропередачи, *кв*	Рабочее напряжение элемента, *кв*	Номинальная емкость, *мкф*	Допустимые отклонения емкости, %	Заводское испытательное напряжение, *кв*
СМО-55/$\sqrt{3}$-0,0044	55	31,8	0,0044	$+10$ -5	160
СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0022	110	64,2	0,0022	± 5	265
СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0064*	110	64,2	0,0064	± 5	265
СМР-133/$\sqrt{3}$-0,0186	133	76,9	0,0186	± 5	285
СМР-166/$\sqrt{3}$-0,014	166	96	0,014	± 5	285
СМР-140-0,045	140	140**	0,045	$+10$ -5	290
ОМР-15-0,107	15	15	0,107	± 5	33
ОМРЗ-30-0,087	30***	30	0,087	± 5	66
ОМРЗ-35-0,0535	35***	35	0,0535	± 5	77
СМР-70-0,0044	70***	40,5	0,0044	$+10$ -5	160

* Выпускаются в двух исполнениях с емкостями 0,0064 и 0,0022 *мкф*.

** Предназначен для установки на линиях электропередачи ± 400 *кв* постоянного тока.

*** В настоящее время не выпускаются.

В последние годы один из отечественных заводов подготавливает к выпуску другой тип элементов конденсаторов, отличающихся от описанного выше тем, что его пакеты заключены не в фарфоровые покрышки, а в металлические кожухи. Такие конденсаторы имеют лишь один основной тип с двумя разновидностями, отличающимися по емкости. Эти элементы конденсаторов маркируются: СММ-20/$\sqrt{3}$-0,035 и СММ-20/$\sqrt{3}$-0,107. Вторая буква М в марке означает, что конденсаторы этого типа имеют металлическую оболочку. Размеры этих конденсаторов показаны на рис. 12. В конденсаторах типа СММ, как это видно из их марки, нет расширителя. Воз-

можно, что в более поздние конструкции расширители будут введены дополнительно. Конденсаторы типа СММ рассчитаны для подсоединения к линиям электропередачи 20 *кв*, собственное рабочее напряжение их 11,5 *кв*, номинальные емкости 0,035 и 0,107 *мкф*. Допустимые отклонения емкости от номинальной ±5%, заводское испытательное напряжение 37 *кв*. Эти конденсаторы найдут широкое применение в электрических сетях 6—10—35 *кв*. Особенно удобно применение этих конденсаторов в промышленных районах с загрязненным воздухом.

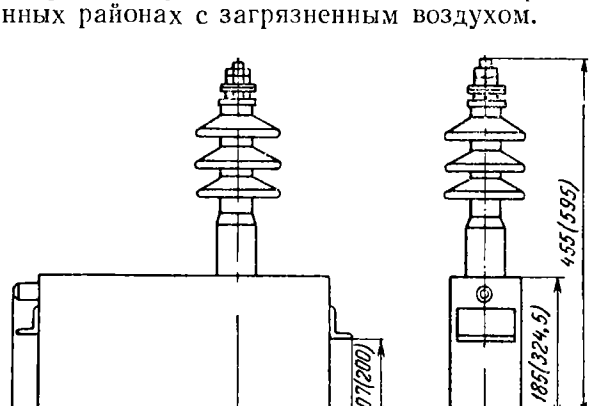

Рис. 12. Внешний вид конденсатора типа СММ-20/$\sqrt{3}$-0,035.

Примечание. В скобках показаны размеры конденсатора типа СММ-20/$\sqrt{3}$-0,107.

Несмотря на высокую точность изготовления элементов конденсаторов, емкость отдельных образцов может отличаться от номинальных емкостей, указанных в марке. Для разных типов конденсаторов установлены пределы допустимых отклонений емкости от номинальной. Эти отклонения приведены в табл. 1 в процентах от номинальной емкости, показанной на заводской табличке. Как определить действительные пределы отклонения емкости конденсаторных элементов, показано в примере 4.

Пример 4. Номинальная емкость конденсаторного элемента СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044 равна 0,0044 *мкф* или 4 400 *пф*. Как видно из табл. 1, допустимые отклонения емкости находятся в пределах от —5 до +10%. Нужно определить наибольшую и наименьшую допустимые емкости конденсатора.

Решение: а) находим емкость конденсатора при отклонении ее на —5% от номинальной:

$$C_{-5}=\frac{0{,}0044}{100}\ (100-5)=\frac{0{,}0044}{100}\cdot 95=0{,}0418\ мкф;$$

б) находим емкость конденсатора при отклонении ее на + 10% от номинальной:

$$C_{+10}=\frac{0{,}0044}{100}\ (100+10)=\frac{0{,}0044}{100}\cdot 110=0{,}00484\ мкф.$$

В эксплуатации на подстанциях имеется некоторое количество конденсаторов связи, изготовленных иностранными фирмами. Количество таких конденсаторов относительно невелико. В принципе их конструкции мало отличаются от конструкции конденсаторов типа СМР и рассматриваться не будут.

Соединение элементов. Промышленность выпускает конденсаторные элементы не для всех напряжений (классов изоляции), принятых для линий электропередачи в Советском Союзе. В самом деле, если для линий электропередачи 35 *кв* можно использовать элементы конденсаторов типа СМР-55/$\sqrt{3}$=0,0044, а для линий электропередачи 110 *кв*—элементы конденсаторов типа СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0064, то для линий электропередачи 220, 400 *кв* или более нет готовых элементов конденсаторов. Все выпускаемые заводами элементы конденсаторов рассчитаны на меньшие напряжения. В практике часто возникает необходимость установки из элементов конденсатора с напряжением, меньшим класса изоляции линии электропередачи, например подключение к линии электропередачи с классом изоляции 110 *кв* имеющихся в наличии элементов конденсатора типа СМ-55/$\sqrt{3}$-0,0044.

В таких случаях последовательно соединяются несколько элементов конденсаторов с меньшим классом изоляции, но так, чтобы сумма классов изоляции соединяемых элементов конденсатора была равна классу изоляции линии электропередачи или немного больше его и чтобы все элементы конденсатора, участвующие в последовательном соединении, были одного типа с одинаковыми классами изоляции. Исключение из этих правил может быть допущено только при совместном соединении конденсаторов связи и конденсаторов отбора мощности.

В табл. 2 приведено количество конденсаторных элементов различных типов, необходимое для последова-

тельного соединения при подключении к линиям электропередачи с различными классами изоляции.

Таблица 2

Количество конденсаторных элементов, которые последовательно включаются при различных напряжениях (классы изоляции) линий электропередачи

Тип конденсаторного элемента	Напряжение линии электропередачи, *кв*									
	10	20	35	60	110	154	220	330	400	500
СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044	—	1	1*	2*	2	3	4	—	—	—
СМР-70-0,0044	—	1	1	2	2*	3*	4	—	—	—
СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0064	—	—	—	1	1*	2	2*	3*	4	—
СМР-133/$\sqrt{3}$-0,0186	—	—	—	1	1	2	2	3	3	4
СМР-166/$\sqrt{3}$-0,014	—	—	—	—	1	1	2	2	3	3*
СММ-20/$\sqrt{3}$-0,035	1*	2*	2*	3	6	8	—	—	—	—
СММ-20/$\sqrt{3}$-0,107	1*	1*	2*	3	6	8	—	—	—	—

Примечание. Звездочкой отмечено наиболее удобное применение конденсаторов.

Общая емкость конденсатора, собранного из нескольких одинаковых элементов конденсатора, оказывается равной емкости одного элемента, разделенной на количество последовательно соединенных элементов. Поясним это примером.

Пример 5. Необходимо собрать конденсатор связи для линии электропередачи 220 *кв* из элементов конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044.

Решение: а) находим количество элементов $n=\frac{220}{55}=4$.

Следовательно, конденсатор будет состоять из четырех элементов конденсатора;

б) находим общую емкость конденсатора:

$$C_к=\frac{0{,}0044}{4}=0{,}0011\ мкф.$$

Общая емкость конденсатора связи $C_к$, составленного из конденсаторных элементов связи типа СМР с емкостью $C_с$ и конденсаторного элемента отбора мощности с емкостью $C_о$, рассчитывается по формуле

$$C_к=\frac{C_с C_о}{C_с+C_о}.$$

Пример 6. Нужно определить общую емкость конденсатора для линии электропередачи с классом изоляции 110 *кв*, составленного из двух элементов конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044 и одного элемента конденсатора отбора мощности типа ОМР-30-0,087 (см. рис. 13).

Решение: а) определим емкость двух последовательно соединенных элементов конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044:

$$C_c = \frac{0{,}0044}{2} = 0{,}0022 \text{ мкф};$$

б) определим емкость всего конденсатора:

$$C_к = \frac{0{,}0022 \cdot 0{,}087}{0{,}0022 + 0{,}087} = 0{,}00215 \text{ мкф}.$$

Представляет интерес также и определение величины напряжения на элементах конденсатора при их последовательном соединении. На одинаковых элементах конденсатора образуются одинаковые падения напряжения, равные между собой и равные фазному напряжению линии электропередачи, деленному на количество элементов. Если конденсатор составлен из различных элементов конденсатора, как показано в примере 6, то падения напряжения между элементами распределятся обратно пропорционально их емкостям и могут быть вычислены по формулам:

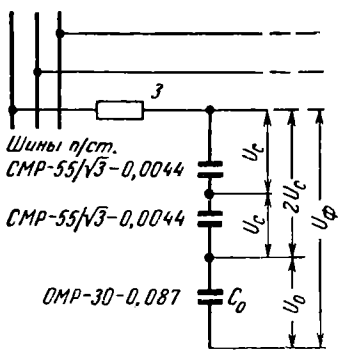

Рис. 13. Схема соединения элементов конденсатора (к примеру 6).

$$U_1 = \frac{U_ф C_2}{C_1 + C_2} \text{ и } U_2 = \frac{U_ф C_1}{C_1 + C_2}.$$

Пример 7. Нужно определить падение напряжения на элементах конденсатора по условиям примера 6.

Решение: а) находим падение напряжения на конденсаторе в целом, равное фазному напряжению линии электропередачи:

$$U_ф = \frac{U_л}{\sqrt{3}} = \frac{110}{1{,}73} = 64{,}2 \text{ кв};$$

б) находим падение напряжения на двух последовательно включенных элементах конденсатора типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044, их общая емкость C_c равна 0,0022 *мкф*:

$$2U_c = \frac{U_ф C_0}{C_c + C_0} = \frac{64{,}2 \cdot 0{,}087}{0{,}0022 + 0{,}087} = 62{,}6 \text{ кв};$$

в) находим падение напряжения на каждом из элементов типа СМР; так как емкости их равны, то падение напряжения на каждом из них

$$U_c = \frac{62,6}{2} = 31,3 \text{ кв};$$

г) находим напряжение на конденсаторе отбора мощности по формуле

$$U_o = \frac{U_\Phi C_c}{C_c + C_o} = \frac{64,2 \cdot 0,0022}{0,0022 + 0,087} = 1,6 \text{ кв};$$

д) проверим вычисления по сумме падений напряжений:

$$U_\Phi = U_c + U_c + U_o = 31,3 + 31,3 + 1,6 = 64,2 \text{ кв}.$$

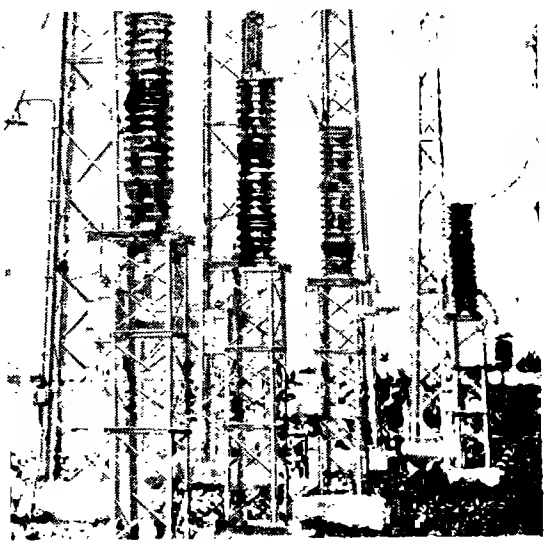

Рис. 14. Конденсаторы, смонтированные на подстанции.

На рис. 14 показаны четыре группы конденсаторов, установленных на одной из подстанций.

3. МОНТАЖ КОНДЕНСАТОРОВ

Опорные конструкции. Конденсатор связи в рабочем состоянии находится под высоким напряжением и устанавливается так, чтобы персонал, посещающий распределительное устройство (РУ), не мог случайно, по-

скользнувшись или забыв об опасности, коснуться токоведущих деталей конденсатора. Для этого конденсаторы связи поднимают на высоту не меньше 2,3 *м* от земли и устанавливают на специальных опорах.

Вес конденсаторов связи, даже самых маленьких (СМР-55/ $\sqrt{3}$-0,0044), составляет около 200 *кг*, а вместе с изолирующей подставкой и другим оборудованием около 300 *кг*. Нагрузка от давления ветра на конден-

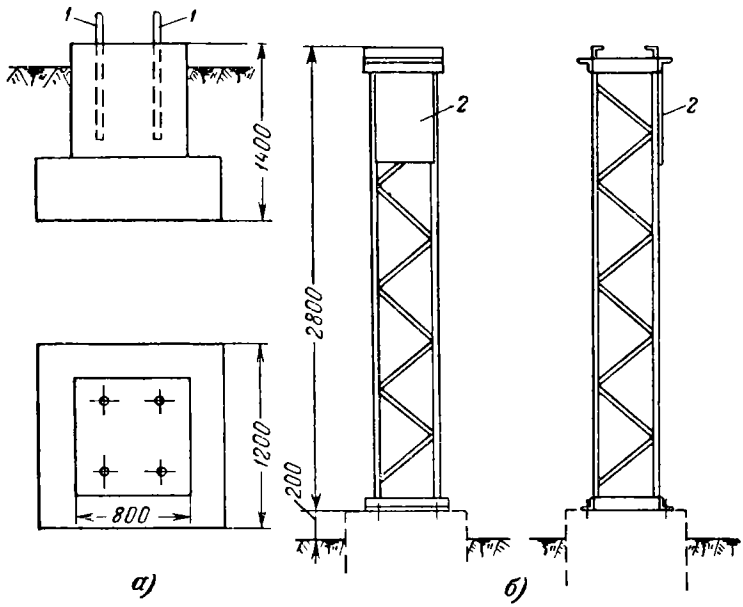

Рис. 15. Металлическая опора для установки конденсатора связи на линии электропередачи 35—110 *кв*.

а — бетонный фундамент; *б* — металлическая конструкция; *1* — анкерные болты; *2* — плата для *ЗН* и *ФП*.

сатор и на опорную конструкцию достигает 150 *кГ*. Сама опора может весить до 200 *кг*. Очевидно, при таких нагрузках, достигающих многих сотен килограмм, должны применяться прочные надежные опоры на соответствующих нагрузкам фундаментах.

Для примера на рис. 15 приведены чертежи опоры (рис. 15,*б*) и фундамента под нее (рис. 15,*а*), широко применяющихся в распредустройствах 35—110 *кв*. Основанием опоры служит фундамент, изготовляемый из бетона марки 100. В фундаменте заделываются четыре

анкерных болта и труба для ввода соединительного высокочастотного кабеля.

Решетчатую конструкцию устанавливают на фундаменте и крепят к нему анкерными болтами. Конструкции изготовляют из угловой стали на сварке, которую производят по всему контуру примыкания свариваемых деталей. На верхнем торце конструкции монтируют раму для крепления изолирующей подставки. Вверху, на боковой стенке приваривают стальную плиту, на которой монтируют заземляющий нож *ЗН* с приводом или

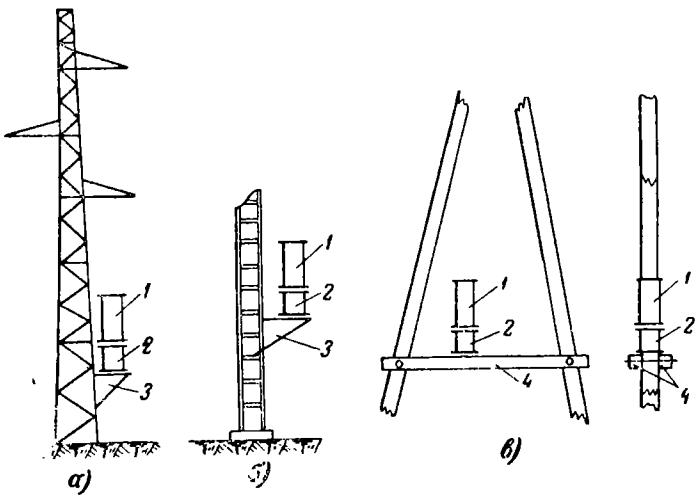

Рис. 16. Установка конденсатора на кронштейне.
а — на металлической опоре; *б* — на портале подстанции 35 *кв*; *в* — на деревянной промежуточной А-образной опоре.
1 — конденсатор связи; *2* — изолирующая подставка; *3* — кронштейн; *4* — бруски.

без привода и фильтр присоединения *ФП*. Высокочастотный кабель поднимается к фильтру присоединения в стальной трубе, приваренной к вертикальной стойке конструкции. При этом учитывают, что расстояние от конденсатора до заземляющего ножа должно быть не больше 0,5 *м*, а до фильтра присоединения не больше 1,5 *м*.

Применяют и другие способы установки конденсаторов связи. На рис. 16 показано несколько примеров установки конденсаторов на опорах и порталах линий электропередачи 35—110 *кв* на специальных кронштей-

нах. Особенно удобно устанавливать конденсаторы на линейных опорах, удаленных от подстанций на большие расстояния, например при устройстве сигнализаторов гололеда с передачей сигнала по каналу высокой частоты.

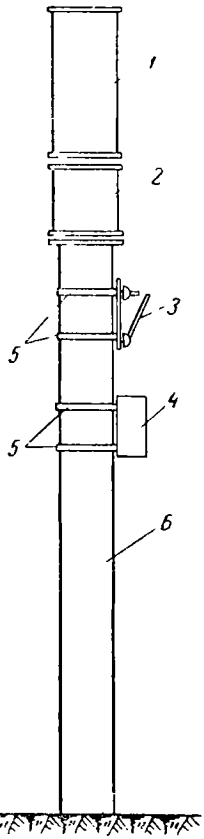

Рис. 17. Установка конденсатора связи на одиночной приставке.

1 — конденсатор связи; *2* — изолирующая подставка; *3* — заземляющий нож; *4* — фильтр присоединения; *5* — хомут; *6* — опора.

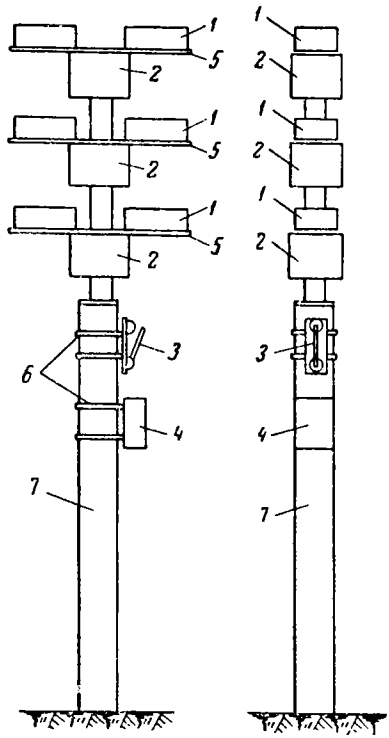

Рис. 18. Установка конденсатора связи типа СММ-20/$\sqrt{3}$ на одиночной опоре.

1 — конденсатор связи; *2* — изоляторы; *3* — заземляющий нож; *4*—фильтр присоединения; *5* — траверсы; *6* — хомут; *7* — опора.

Во многих случаях конденсаторы связи можно устанавливать не на сварной конструкции с бетонным фундаментом, а на одиночной железобетонной приставке (рис. 17). На верхнем торце специальной фигурной ско-

бой крепится горизонтальная плита из листовой стали толщиной 5–6 *мм*. На плите устанавливают и укрепляют изолирующую подставку, а затем и конденсатор связи. На вертикальной части приставки хомутами крепят заземляющий нож и фильтр присоединения. Особенно удобен такой способ установки конденсаторов связи на подстанциях 35 *кв*. В разработанном варианте установки конденсаторов связи типа СММ-20/$\sqrt{3}$ они также устанавливаются на одиночной опоре, как показано на рис. 18. На столбовых подстанциях 6—10 *кв* конденсаторы связи, например типа СММ-20/$\sqrt{3}$, устанавливают на деревянном кронштейне над силовым трансформатором (рис. 19).

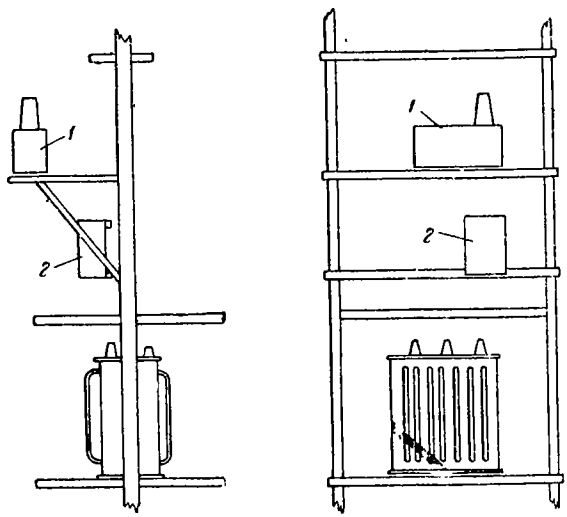

Рис. 19. Установка конденсатора связи на столбовой подстанции 6—10 *кв*.

1 — конденсатор связи; *2* — фильтр присоединения.

На подстанциях напряжением 400—500 *кв* вес конденсаторов на одной опоре достигает 3 *т*, а высота колонны, составленной из конденсаторов, превышает 4,5 *м*. Для такой нагрузки необходима мощная опорная конструкция. Ее изготовляют не из стали, а из бетона. Такая опора под конденсаторы является продолжением фундамента, поднятого до высоты, принятой для монтажа оборудования 400 500 *кв*.

Возможны и другие способы установки конденсаторов связи.

Во многих случаях, особенно на подстанциях 35 и 110 *кв*, высокочастотные заградители не подвешивают на портале подстанции или в пролете линии, а устанав-

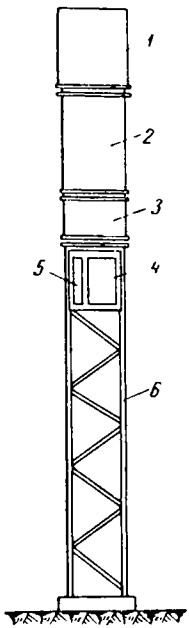

Рис. 20. Совместная установка конденсатора связи и высокочастотного заградителя на одной опоре.
1 — высокочастотный заградитель; *2* — конденсатор связи; *3* — изолирующая подставка; *4*—фильтр присоединения; *5* — заземляющий нож; *6* — опора.

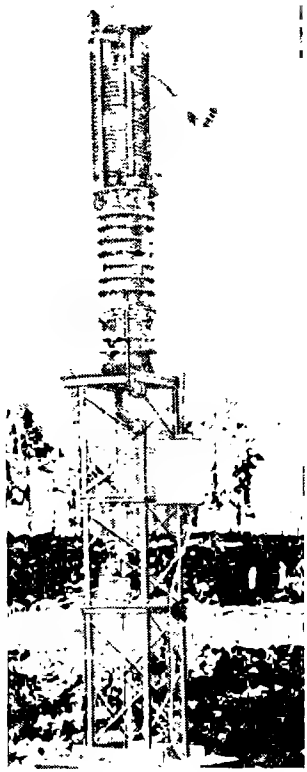

Рис. 21. Конденсатор со смонтированным на нем заградителем (обозначения, как на рис. 20).

ливают на верхней крышке конденсатора связи, как показано на рис. 20. Для соединения конденсатора связи с заградителем применяют специальное крепежное кольцо, которое крепится болтами к верхней крышке конденсатора связи. В свою очередь высокочастот-

ный заградитель устанавливают и крепят с верхней стороны кольца. На рис. 21 показана фотография конденсатора с смонтированным на нем заградителем.

Одиночно стоящую конструкцию для конденсатора связи или кронштейн для него на опоре линии или портале подстанции устанавливают в таком месте, чтобы спуск от провода линии электропередачи был возможно короче, чтобы он не пересекал линейных проводов других фаз и был удобен во всех других отношениях.

Заземление. Металлическую опору для конденсатора надежно заземляют присоединением к общему контуру заземления подстанции или опоры линии электропередачи, если конденсатор устанавливается в середине участка линии. Для заземления применяют стальную шину сечением не менее 40×4 *мм* и надежно приваривают ее к металлической конструкции. Нужно помнить, что разрыв заземления может привести к аварии и человеческим жертвам.

На железобетонной опоре для конденсатора шину заземления выводят до самого верха опоры и укрепляют вдоль нее хомутами. Наименьшее сечение шины, которую выводят по опоре, 25×3 *мм*. На опоре конденсатора связи заземляются кожух и вывод «земля» фильтра присоединения, основание и нож заземляющего ножа и один из электродов разрядника, если он устанавливается не внутри фильтра присоединения. Заземляется также оболочка высокочастотного кабеля, подключаемого к фильтру присоединения.

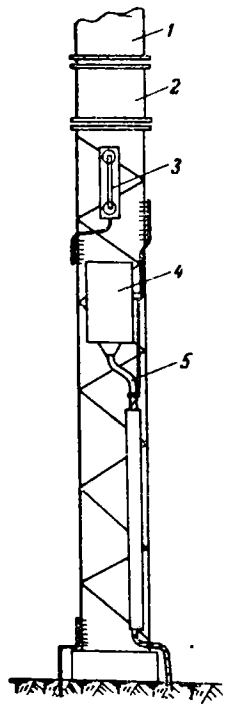

Рис. 22. Схема заземления аппаратов на опоре конденсатора. *1* — конденсатор связи; *2* — изолирующая подставка; *3*—заземляющий нож; *4* — фильтр присоединения; *5* — высокочастотный кабель.

Заземление аппаратов, расположенных на металлической опоре, выполняют отрезками плоских или круглых стальных шин сечением не менее 50 *мм*^{2}. Один конец отрезка с наконечником присоединяется к заземляе-

мому аппарату, а другой надежно приваривается к металлу конструкции. Места присоединения к конструкции располагают так, чтобы их легко было осмотреть и проверить. На железобетонных и деревянных опорах все аппараты заземляют путем присоединения к шине заземления, поднятой на опору. Все присоединения также выполняют сваркой. Для примера на рис. 22 изображена конструкция с установленными на ней аппаратами и шинками заземления.

Установка и монтаж. После окончания установки опоры, полного схватывания бетона, подливки фундамента и надежного закрепления опоры можно приступать к установке конденсатора.

Таблица 3

Размеры и вес конденсаторных элементов

Тип конденсатора	Высота, *мм*	Диаметр, *мм*	Вес, *кг*	Отверстия для крепления			Вес свободного масла, *кг*	Тип фарфоровой покрышки
				Диаметр окружности, *мм*	Количество	Диаметр отверстия, *мм*		
СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044	780±35	436	175	410	9	16	20	1
СМР-7 -0,0044	780±35	436	215	419	9	15	—	1
СМР-110 $\sqrt{3}$-0,0064	1160	436	265	410	9	16	30	1
СМР-133 $\sqrt{3}$-0,0186	1380±25	730	950	695	12	14	120	2
СМР-166 $\sqrt{3}$-0,014	1380±25	730	950	695	12	14	—	2
ОМР-30-0,087	830±25	905	910	870	12	14	—	3
ОМР-35-0,535	830±25	905	910	870	12	14	—	3
СММ-20/$\sqrt{3}$-0,035	455	440×92	14	—	—	—	—	—
СММ-20/$\sqrt{3}$-0,107	395	455×112	26	—	—	—	—	—

Сборку начинают с крепления на опоре изолирующей подставки. Промышленность выпускает два типа изолирующих подставок, размеры которых приведены в табл. 4. Подставка для конденсаторов СМР-55 и СМР-110 устанавливается на верхней раме конструкции и укрепляется четырьмя болтами М 20×100. Подставки старого выпуска, находящиеся и теперь в эксплуатации, крепятся девятью шпильками к специальной плите, при-

варенной или приболченной к верхнему торцу опоры. Подставка для других типов конденсаторов крепится восьмью болтами М 24×100 или 24 болтами М 16×100 (старого выпуска).

Подставку тщательно выверяют по уровню или отвесу. Отклонения от вертикали можно устранить, подкладывая под основание подставки обрезки листовой стали. Выверенную подставку закрепляют окончательно и на нее устанавливают элемент конденсатора.

Поднимают конденсатор на опору, продев канаты, стропы, в специальные монтажные кольца (рымы), находящиеся на верхней крышке конденсатора. По окончании подъема монтажные кольца снимаются (вывораживаются). Такие же кольца можно закрепить как болты и в верхней крышке изолирующей подставки.

Обвязывать стропы вокруг тела фарфоровой покрышки ни в коем случае нельзя, так как перенапряжения, возникающие при таком подъеме в фарфоре, могут разрушить фарфор и конденсатор выйдет из строя.

Такелажные работы по подъему подставок и элементов конденсатора на опору выполняют с помощью автокрана, имеющего достаточную высоту подъема груза. При определении высоты подъема нужно учитывать высоту опоры, подставки, элементов конденсаторов, длину строп и др. Определение необходимой высоты подъема показано на следующем примере.

Пример 8. Необходимо определить высоту подъема крюка крана для установки конденсатора связи на стандартной опоре вышиной 2800 *мм*. Устанавливаются конденсаторы типа СМР-55/$\sqrt{3}$ на подстанции с напряжением 110 *кв*.

Решение: при напряжении линии электропередачи 110 *кв* устанавливаются два последовательно включенных конденсаторных элемента типа СМР-55/$\sqrt{3}$. Общая высота подъема крюка определяется из чертежа на рис. 23. Высота опорной конструкции 2 800 *мм*, высота изолирующей подставки 435 *мм*, высота двух конденсаторных элементов СМР-55/$\sqrt{3}$ составит $780 \cdot 2 = 1\,560$ *мм*, расстояние между крюком крана и верхней крышкой второго (верхнего) конденсатора приблизительно 1 000 *мм*.

Всего $2 \cdot 800 + 435 + 1\,560 + 1\,000 = 5\,795$ *мм* или с округлением и небольшим запасом 6 *м*.

Часто применяют и другие способы подъема конденсаторов на опору. Подъем с помощью треноги с блоком осуществляется вручную (рис. 24,*а*). Основным приспособлением служит тренога из трех стальных труб, соединенных в одном конце общим шарниром. У шарнира

в верхней части треноги подвешивается блок или полиспаст. Через блок перебрасывается трос. Для подъема используют обычно ручную лебедку. Удобно устанавливать конденсатор связи на опору с применением приставной стрелы и лебедки (рис. 24,*б*).

Перед подъемом конденсатора вне зависимости от способа его монтажа к телу конденсатора привязывают мягкую веревку. Этой веревкой конденсатор оттягивают от металлической опоры и ранее установленных элементов, чтобы не ударить и не повредить фарфоровую покрышку во время подъема.

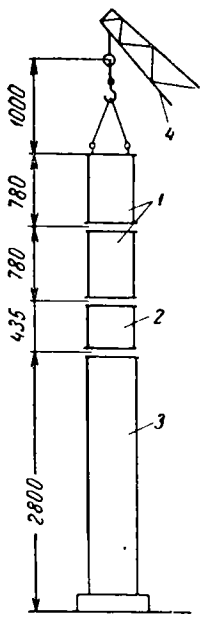

Рис. 23. Подъем конденсатора связи на опору автокраном.

1 — элемент конденсатора связи; *2* — изолирующая подставка; *3* — опорная конструкция; *4*—стрела автокрана (к примеру 8).

После подъема конденсаторного элемента его не опускают жестко на нижестоящий элемент или изолирующую подставку, а оставляют возможность повернуть его, пока он висит, или немного сдвинуть в сторону. В этом положении вставляют 2—3 сквозных крепящих болта, которые проходят через отверстия устанавливаемого элемента и отверстия подставки или нижнего элемента. После этого, когда положение элемента конденсатора точно определено, его опускают на подставку, вставляют все крепящие болты или шпильки с гайками, выверяют конденсатор по уровню или отвесу, освобождают стропы и оттяжку и доводят затяжку болтов до нормы. Размеры и вес изолирующих подставок даны в табл. 4.

Очень важно при монтаже не перетягивать крепежные болты. Сила, с которой следует затягивать болты, определяется силой руки среднего человека, работающего обычным гаечным или разводным ключом. Нельзя усиливать затяжку, надевая на ручку ключа отрезок трубы или другим способом увеличивая длину рычага и усилие на гайке болта. Опасность перетяжки заключается в том, что напряжения и незаметные перекосы в конструкции конденсатора, которые по-

Таблица 4

Размеры и вес изолирующих подставок

Высота, мм	Диаметр, мм	Вес, кг	Диаметр окружности болтов, мм	Отверстия для крепления				Тип конденсатора, для которого предназначена подставка
				к опоре		к конденсатору		
				Количество, шт.	Ø, мм	Количество, шт.	Ø, мм	
435	436	86	410	4	24	9	14	СМР-55/$\sqrt{3}$,
				9	14			СМР-110/$\sqrt{3}$
470	905	280	870	8	27	24	18	СМР-133/$\sqrt{3}$,
								СМР-166/$\sqrt{3}$
				24	18			ОМРЗ-30, ОМРЗ-35

Примечание. В графах „Количество" и „Ø" отверстий для крепления к опоре во втором ряду показаны количество и диаметр отверстий в подставках старого типа.

являются при неравномерной затяжке болтов и особенно при их перетяжке, могут привести к образованию трещин в фарфоровой покрышке. Вызванные перетяжкой

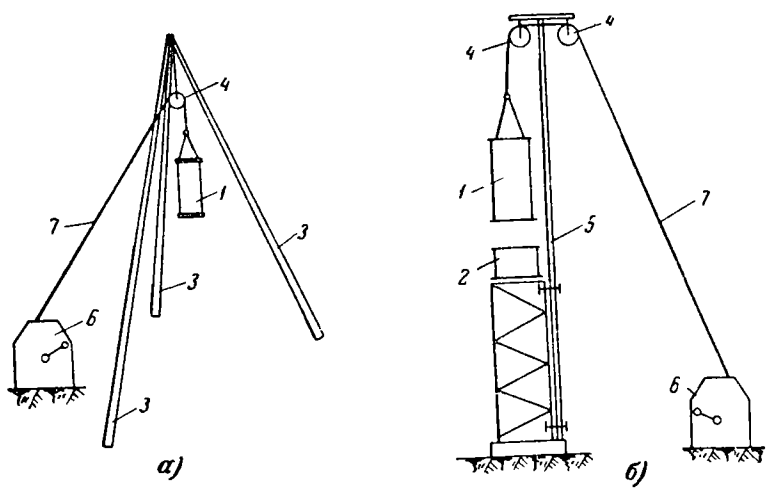

Рис. 24. Способы подъема конденсатора связи на опору.

а — с треногой; *б* — с приставной стрелой; *1* — конденсатор связи; *2* — изолирующая подставка; *3* — тренога; *4* — блок; *5* — приставная стрела; *6* — ручная лебедка, *7* — канат.

опасные перекосы и перенапряжения могут усилиться при изменении внешних условий — температуры, ветра и др. Поэтому такие «монтажные» трещины могут появиться не только во время монтажа при установке конденсатора, но и значительно позже через большой промежуток времени.

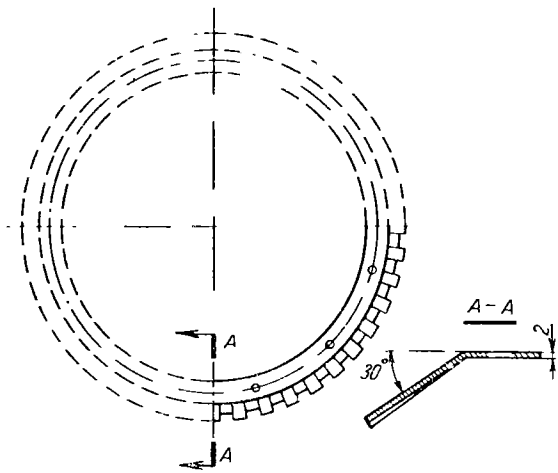

Рис. 25. Кольцеобразный козырек.

Между собой при монтаже конденсаторы крепятся шпильками с двумя гайками или болтами с гайками. Конденсаторы типов СМР-55/$\sqrt{3}$ и СМР-110/$\sqrt{3}$ и соответствующая им изолирующая подставка соединяются девятью болтами М 12×100. Конденсаторы связи СМР-133/$\sqrt{3}$ и СМР-166/$\sqrt{3}$ и конденсаторы отбора мощности ОМР-30 и ОМР-35 не могут непосредственно соединяться со своей изолирующей подставкой, так же как элементы конденсаторов типа СМР не могут соединяться с элементами типа ОМР, так как диаметры их крышек и диаметры окружностей отверстий для болтов различны.

В этих случаях соединение производят не непосредственно между элементами, а с помощью специального (переходного) соединительного фланца, на котором имеются отверстия, подходящие к крышкам обоих соеди-

няющихся элементов. Конденсаторы типов СМО-133/$\sqrt{3}$ и СМР-166/$\sqrt{3}$ снабжаются на заводе дополнительной нижней крышкой, для соединения элементов с их изолирующей подставкой.

На конденсаторах связи типа СМР-133/$\sqrt{3}$ и СМР-166/$\sqrt{3}$ и конденсаторах отбора мощности ОМР-30 и ОМГ-35 между элементами устанавливаются специ-

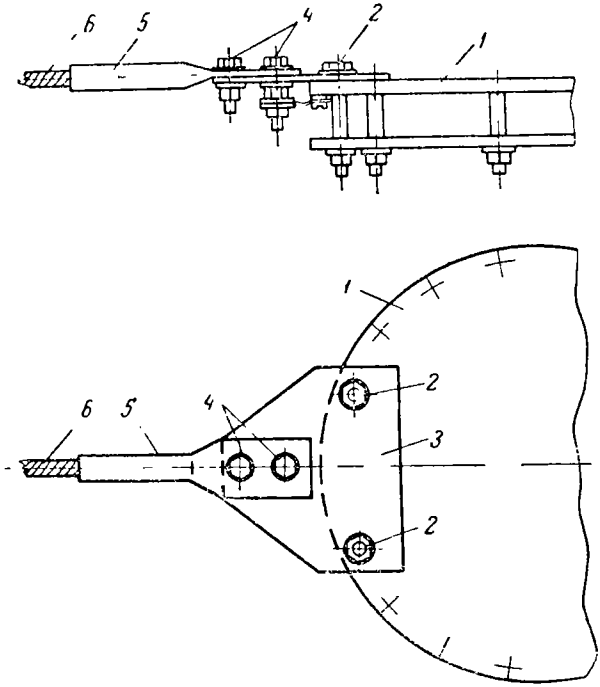

Рис. 26. Присоединение аппаратного зажима к крышке конденсатора.

альные кольцеобразные козырьки, которые улучшают электрические свойства конденсаторов и раздробляют потоки дождевой воды так, что они падают на нижние элементы не сплошной струей, а отдельными каплями. Козырек изображен на рис. 25.

Элементы конденсаторов прибывают с завода с окрашенными металлическими частями. Металлические конструкции и детали (плиты для крепления аппаратуры, переходные фланцы, трубы) очищаются и окрашиваются за 2 раза масляными красками.

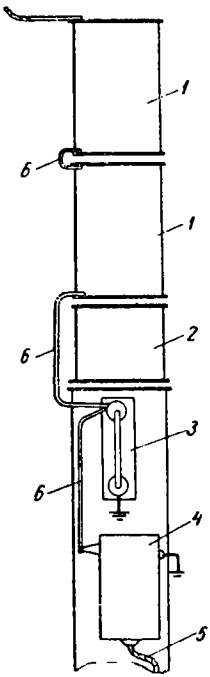

Рис. 27. Схема ошиновки аппаратов на конструкции конденсатора связи.

1 — конденсатор связи; *2* — изолирующая подставка; *3* — заземляющий нож; *4* — фильтр присоединения; *5* — высоковольтный кабель; *6* — ошиновка.

К электрическому монтажу конденсаторов связи и всех аппаратов, расположенных на опорной конструкции конденсатора, приступают только после окончания механической сборки конденсатора и установки аппаратов.

Спуск к конденсатору от фазного провода линии электропередачи выполняют проводом, близким по сечению к проводам линии электропередачи, и определяют при проектировании подстанции. К проводу линии электропередачи спуск (отпайка) присоединяется болтовым или петлевым зажимом для алюминиевых проводов по правилам монтажа проводов и шин на подстанциях напряжением выше 1 000 *в*.

Присоединение спуска к конденсаторному элементу производят с помощью прессуемого аппаратного зажима с специальной планкой. Как показано на рис. 26, к верхней крышке *1* собранного конденсатора связи двумя болтами *2* крепится стальная фигурная планка *3*, к которой в свою очередь двумя болтами *4* крепится аппаратный зажим *5* с запрессованным в него линейным проводом *6*. Тип аппаратного зажима выбирают в соответствии с маркой и сечением провода спуска. Например, при проводе марки АС-70 зажим выбирается типа АГА-70, при проводе АС-120—АГА-120 и т. д.

Соединения соседних элементов конденсатора между собой, если их в группе несколько, производят перекидками между смежными крышками соседних элементов. Перекидки изготовляют из медной шины сечением не менее 20×3 *мм*. Подсоединяют перекидки к крышкам элементов болтами.

Ошиновку производят медными шинами сечением не менее 50 *мм*^{2}. Для этих целей применяют круглые шины диаметром 8—12 *мм* и плоские шины толщиной не менее 3 и шириной 20—40 *мм*. Медные шины выправляют, изгибают по нужному шаблону и тщательно зачищают от заусенцев и острых граней. Затем на концы заготовок припаивают наконечники, соответствующие по диаметру болтам, к которым их подсоединяют. Вся поверхность шинок, кроме контактной части наконечников, окрашивается масляной краской.

При сборке и ошиновке конденсаторов связи нужно иметь в виду, что в цепи конденсатора связи при высоком напряжении действуют сравнительно маленькие токи и ухудшение контакта между элементами может привести к искровому разряду в цепи и отказу защиты и др. Пример ошиновки фильтра присоединения и заземляющего ножа на опоре конденсатора связи дан на рис. 27.

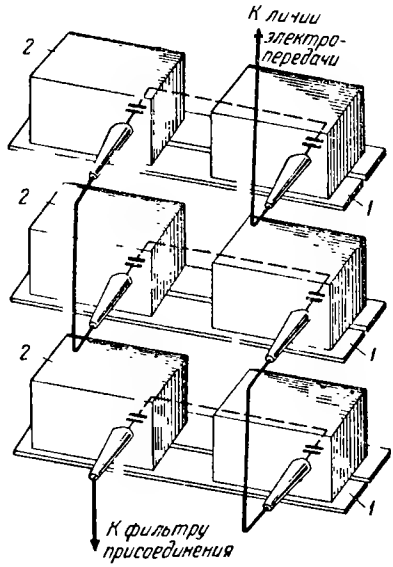

Рис. 28. Схема ошиновки конденсаторов типа СММ-20/$\sqrt{3}$.
1 — траверса; *2* — конденсатор.

Особо выполняют монтаж конденсаторов из элементов типа СММ-20/$\sqrt{3}$. В институте Энергосетьпроект разработан типовой проект установки и монтажа этих конденсаторных элементов. В основу конструкции в этом проекте положено то обстоятельство, что конденсаторные элементы типа СММ можно монтировать почти в любом положении: стоя или лежа на любом боку. Нельзя устанавливать эти конденсаторы только опрокинутыми, с выходным изолятором, опущенным вниз. На рис. 28 показана схема ошиновки этих конденсаторов на опоре для напряжения 110 *кв*. При такой схеме конден-

саторы оказываются соединенными последовательно. Так как элементы попарно располагаются на металлических траверсах, соединение их корпусов осуществляется через траверсу. Падение напряжения на каждой паре элементов невелико, поэтому напряжения между двумя парами элементов на соседних траверсах также невелики и изоляция между ними с избытком обеспечивается опорными изоляторами типа ШТ-35 или ИШД-35.

Соединение между корпусом элемента и траверсой производят через ушко, приваренное к корпусу на заводе. Монтаж перемычек между изоляторами элементов выполняют алюминиевыми или медными шинами. Применение в этих целях стальных шин не допускается из-за малой прочности заделки выводных изоляторов.

Подготовка к монтажу. Перед монтажом на опоре элементы конденсатора подбирают по емкости и подвергают внешнему осмотру. По емкости конденсаторные элементы подбирают еще на складе так, чтобы в конденсатор попали элементы, наиболее близкие по емкости, со сходными отклонениями их емкости от номинальной и, во всяком случае, чтобы знаки отклонения от номинальной емкости были одинаковы — либо оба с положительными отклонениями (+), либо с отрицательными (—).

В примере 9 показан подбор элементов конденсаторов для монтажа.

Пример 9. Из четырех имеющихся конденсаторных элементов типа СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044 нужно составить две группы по два элемента в каждой для напряжения 110 *кв*.

Емкости элементов следующие:

C_1=0,0048 *мкф*+9% номинальной;
C_2=0,0049 *мкф*—2% номинальной;
C_3=0,0042 *мкф*—1% номинальной;
C_4=0,0046 *мкф*+5% номинальной.

Выбираем для соединения в первую группу элементы первый и четвертый с отклонениями в сторону увеличения (+) и во вторую группу второй и третий элементы с отклонениями в сторону уменьшения (—) от номинальной емкости.

Если все емкости нескольких элементов имеют отклонения в одну сторону (+ или —), то конденсаторы подбирают так, чтобы разность емкостей между элементами, собираемыми в один конденсатор, была наименьшей.

Распакованные конденсаторы очищают от пыли и грязи и тщательно осматривают. Осмотр необходим, что-

бы убедиться в целости элемента и в том, что он не поврежден при перевозках и хранении.

Целость и герметичность элемента конденсатора определяют по отсутствию следов масла у крышек, крепящих колец и на фарфоровой покрышке конденсаторов. Внутри конденсатора всегда имеется небольшое избыточное давление. Поэтому трансформаторное масло проникает наружу даже через очень маленькую трещину в фарфоре или неплотность в стенке между крышкой и фарфоровой покрышкой элемента.

Одновременно проверяется отсутствие сколов на ребрах фарфоровой покрышки и мелких, не сквозных трещин в теле фарфора. Если сколов немного и они малы по размеру, можно, тщательно промыв и просушив поверхность скола, закрасить его прочным влагостойким лаком. Очень существенно, чтобы за сколом не следовала в фарфоре трещина, которая в последующем может увеличиться. Закрашивают сколы обязательно, так как обнаженный фарфор обладает неровной поверхностью и на нем могут осаждаться пыль, уносы из дымовых труб соседних предприятий и другие осадки, из-за которых поверхность скола становится токопроводящей и ухудшает изоляцию конденсатора и всего присоединения. Куски отколовшегося фарфора можно приклеить, если они невелики, клеем БФ или другими специальными клеями. Возможность ремонта поврежденной фарфоровой покрышки решается на месте монтажа, так же как это делается с другими фарфоровыми изоляторами у аппаратов высокого напряжения.

Незначительная течь масла между стальной крышкой и фарфоровой покрышкой может появиться через неплотности уплотняющей прокладки. Просачивание масла устраняют подтягиванием болтов по окружности крышки. Подтягивать их нужно осторожно, поворачивать головку болта за один обход всей крышки не более половины оборота, не прикладывая при этом больших усилий.

Измерения. В элементах конденсаторов, подлежащих монтажу, могут оказаться дефекты. Они могут быть во вновь изготовленном конденсаторе, могут возникнуть во время небрежной транспортировки, неправильного обращения с ними на складах длительного хранения, на стройплощадках и в других местах и по другим причинам. Поэтому перед установкой и монтажом, а потом

при сдаче объекта в эксплуатацию и периодически в процессе эксплуатации электрические свойства элементов конденсаторов проверяют путем измерений и испытаний.

Элементы конденсаторов подвергают испытанию повышенным напряжением, проверяют сопротивление изоляции элемента в целом и измеряют угол диэлектрических потерь и емкость конденсатора.

Испытание элементов конденсатора производят повышенным напряжением промышленной частоты. Длительность испытания 1 *мин*. Величины испытательного напряжения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Испытательные напряжения конденсаторных элементов

Тип конденсаторного элемента	СМР-70/$\sqrt{3}$ СМ-70/$\sqrt{3}$	СМР-133/$\sqrt{3}$	ОМР-30	ОМР-35
Напряжение, *кв*	162	257	59	69

Примечания: 1. Для других типов конденсаторных элементов норм нет.
2. Изолирующие фарфоровые подставки испытываются напряжением промышленной частоты 70 *кв*.

Испытания повышенным напряжением обязательны для всех конденсаторов с номинальным напряжением ниже 35 *кв*. Элементы конденсаторов с напряжением выше 35 *кв* проходят обязательные испытания повышенным напряжением, только если на подстанции есть соответствующая установка (трансформатор). При отсутствии установки испытание повышенным напряжением промышленной частоты можно не производить и это не будет препятствием для сдачи конденсатора в эксплуатацию после монтажа или капитального ремонта.

Обязательно проверяют сопротивление изоляции элемента конденсатора. Эту проверку производят мегомметром 2 500 *в* в течение 1 *мин*. Если испытание повышенным напряжением производят, то желательно проверить изоляцию мегомметром дважды: до испытания повышенным напряжением и после испытания. Величина сопротивления изоляции не нормируется.

В состав обязательных предсдаточных измерений входит измерение изоляции конденсатора и измерение его электрической емкости. Такие измерения выполняют специальными высоковольтными измерительными мос-

тами, путем измерения угла диэлектрических потерь δ или тангенса этого угла $\operatorname{tg}\delta$. Процесс измерения подробно описан в § 4. Этими же мостами измеряют емкость конденсатора.

Каждое измерение и испытание оформляют протоколом, в котором указывают дату и время измерения, приборы, которыми производились измерения, результаты измерений, фамилии лиц, участвовавших в производстве измерений, и др. Протоколы всех измерений и испытаний предъявляют приемной комиссии при сдаче смонтированного конденсатора в эксплуатацию.

Транспортировка и хранение. Перевозят элементы конденсаторов на всех видах транспорта только в вертикальном положении. Класть элементы конденсатора на бок или опирать на верхнюю крышку нельзя, это может повредить конденсатор. Для удобства и для информации работников транспорта на упаковке элементов делают надписи: «Верх», «Не кантовать», «Осторожно, фарфор» и др.

Поднимать элементы при погрузке, разгрузке или передвижении с места на место можно только за специальные кольца (рымы), укрепленные на верхней крышке элемента. Нельзя перекатывать элемент конденсатора по кромке нижней крышки, как перекатывают бочку. Такой способ передвижения может легко вывести конденсатор из строя, привести к течи масла, поломке фарфоровой покрышки и др.

При перевозке элементов конденсатора в автомашине нужно принять меры, чтобы элементы не испытывали сильных толчков и не могли опрокинуться. Если в автомашине везут несколько элементов или перевозят их с другим оборудованием, то их нужно в кузове расчалить, а оборудование привязать так, чтобы они не ударялись друг о друга.

Хранить конденсаторы и изолирующие подставки можно в тепло-холодном складе и на открытом воздухе, преимущественно под навесом. Следует только учесть, что элементы могут находиться при температурах не выше $+35°$ С и не ниже $-40°$ С. Этим условием нужно определять и место хранения.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Оборудование, находящееся в рабочем состоянии под током или только под напряжением, изнашивается, если

даже оно не участвует в механических действиях, как, например, приводы и подвижная часть выключателей. На износ оборудования влияют значительные колебания температуры, смена ясной погоды и ненастья и др. На состоянии оборудования высокого напряжения открытых подстанций очень тяжело отражаются пыль, переносимая ветром, и особенно уносы золы и газов, выбрасываемые из труб близлежащих предприятий. Эти уносы вместе с пылью образуют на поверхности изоляторов плотную, а иногда и довольно прочную пленку, обладающую проводящими свойствами.

На изоляторах, находящихся на расстоянии даже нескольких десятков километров от морей и океанов, откладывается тонкая пленка солей, растворенных в морской воде и переносимых влажным воздухом. В таких условиях, если не принимать специальных мер, по поверхности изоляторов может произойти разряд, нарушающий нормальное действие всего присоединения.

В сочлененных между собой деталях, изготовленных из разных материалов, возникают дополнительные механические напряжения при изменениях температуры. Происходит это потому, что при изменении температуры различные вещества по-разному изменяют свои размеры. Так, например, сталь изменяет размеры в 3 раза больше, чем фарфор, при одинаковом изменении температуры.

В мельчайшие трещины глазури или фарфора на поверхности изоляторов проникает влага. При понижении температуры до отрицательных значений влага замерзает и, расширяясь при превращении в лед, разрывает трещины, увеличивая их и ухудшая свойства изоляторов.

Металлические части аппаратов на воздухе в присутствии влаги окисляются, корродируют (ржавеют) и постепенно разрушаются.

Но не только внешние условия нарушают целость и исправность аппаратов. Со временем изменяют свои свойства части, изолированные от внешних воздействий. Например, с течением времени трансформаторное масло окисляется даже в герметически закрытом сосуде и ухудшает свои свойства. При случайных перенапряжениях на линиях электропередачи или по другим причинам в конденсаторных секциях происходят перекрытия изоляции и короткие замыкания; в других случаях в от-

дельных секциях или пакетах возникают обрывы между секциями в пакете или между пакетами в группе, что изменяет емкость элемента конденсатора.

Ослабевают крепежные болты, окисляются контактные поверхности в ошиновке конденсатора и ухудшаются условия для протекания тока. Есть много других причин, ухудшающих состояние и работоспособность аппаратов подстанций. Результатом этих явлений может быть выход аппарата из строя и даже авария.

Поддерживать аппараты в работоспособном состоянии и предотвратить их повреждение и аварии может только правильно поставленная и тщательно проводимая эксплуатация. Все сказанное в полной мере относится и к конденсаторам высокочастотной защиты, связи и емкостного отбора мощности.

Эксплуатация конденсаторов складывается из нескольких процессов: периодических осмотров, текущих ремонтов и эксплуатационных измерений. Капитальные ремонты, выполняющиеся только при возникновении прямой необходимости, например, при значительных повреждениях конденсаторов, практически выходят за рамки эксплуатации.

Осмотры. Текущие осмотры конденсаторов связи производит персонал, обслуживающий распределительное устройство, одновременно с осмотром всех аппаратов, установленных в этом распредустройстве. Кроме того, конденсаторы связи нужно со всей аппаратурой осматривать при внеочередных осмотрах.

На подстанциях с постоянным дежурством персонала осмотр конденсаторов производят одновременно с осмотром всего оборудования 1 раз в сутки, на подстанциях без постоянного дежурства — 1 раз в месяц. Кроме того, конденсаторы связи и отбора мощности осматривают вместе со всем оборудованием распределительного устройства при всех внеочередных проверках.

В распределительных устройствах, находящихся в плохих атмосферных условиях, вблизи предприятий, выбрасывающих в воздух много дыма, пыли, шлаковых уносов, вредных газов, вообще в условиях быстрого загрязнения изоляторов осмотр оборудования производят по специальному графику. Внеочередные обходы устраивают при тяжелых метеорологических условиях: сильный туман, мокрый снег, гололед.

Осматривая конденсаторы связи и отбора мощности, особое внимание обращают на чистоту поверхности фарфоровой покрышки, на отсутствие на ней трещин и новых сколов, на следы подтекания масла. Чтобы легче обнаружить появившуюся течь масла, стальную армировку конденсатора окрашивают белой краской. На светлом фоне потеки масла, особенно если на них появится пыль, хорошо заметны.

Течь масла может предшествовать особо опасному повреждению конденсатора. После продолжительной течи избыточное давление в конденсаторе может иссякнуть и внутрь конденсатора через трещину начнет проходить свежий воздух. Масло отсыревает и конденсатор выходит из строя. Поэтому течь масла, если она уже появилась, желательно обнаружить возможно раньше, чтобы своевременно принять меры к ее устранению.

Сильное загрязнение изоляции способствует образованию короны — тихого разряда по поверхности изолятора. Процесс коронирования может предшествовать перекрытию по поверхности изолятора. Плохие контакты в местах подключения конденсатора и перемычек между его элементами бывают причиной образования в этих контактах искрения, ухудшающего контакт и мешающего нормальному действию каналов защиты и связи не только на поврежденном присоединении, но и на других линиях, отходящих от этой или соседней подстанции и даже дальше. Оба эти явления сопровождаются легким треском, шорохом и слабым свечением. Для их обнаружения осмотры повторяют в темноте, когда можно увидеть даже небольшое свечение, а шорох разрядов слышен явственнее. Плохие контакты могут быть не только на конденсаторе связи, но и на фильтре присоединения, через первичную обмотку которого конденсатор заземляется.

Все внешние осмотры выполняют, не приближаясь к конденсатору связи и другому оборудованию, установленному на опорах, на расстоянии, меньшее разрешенного, и, конечно, не прикасаясь к оборудованию.

О всех неисправностях и дефектах конденсаторов, обнаруженных при дневных или ночных осмотрах, делают записи в журнал дефектов и неполадок с оборудованием. Записи нужно делать кратко, но четко, так как они являются основой для подготовки текущих, а потом и капитальных ремонтов О неисправностях на кон-

денсаторах, через которые проходят каналы высокочастотной защиты, нужно немедленно сообщить в районную службы защиты и автоматики. О неисправности конденсаторов, по которым действует высокочастотная связь, сообщают персоналу связи на ближайший пункт, где этот персонал имеется.

Текущие ремонты. По мере возникновения необходимости, например при сильном загрязнении фарфоровой покрышки или небольшой течи масла, производят текущий ремонт конденсаторов. Характерным для текущего ремонта является то, что все работы по его выполнению производятся без вскрытия конденсатора и на месте его установки без демонтажа. Поскольку текущий ремонт выполняют по мере необходимости, графика на его выполнение не составляют.

В состав текущего ремонта конденсаторов входят очистка фарфоровой покрышки конденсатора и изолирующей подставки от пыли и грязи, проверка затяжки и подтягивание всех болтовых соединений, окраска (выборочная) металлических частей и др. Все работы по текущему ремонту конденсаторов связи и отбора мощности выполняют при снятом напряжении и заземленной линии электропередачи.

Работать на конденсаторе связи, находящемся под напряжением, запрещается.

Очистку изоляторов — покрышки конденсатора, изолирующей подставки, изоляторов заземляющего ножа и фильтра присоединения — производят различными способами в зависимости от степени загрязненности изоляторов и характера загрязнения. Малозагрязненные, покрытые пылью изоляторы протирают сухой тряпкой, или тряпкой, слегка смоченной мыльным раствором. Вместо тряпок можно применять мягкую волосяную щетку. Более стойкий слой грязи или копоти можно смывать тряпками, смоченными бензином или керосином, легким, без твердых песчинок, глинистым раствором, а в трудных случаях даже слабым раствором кислот. Отмывая изолятор от грязи, следят, чтобы случайными песчинками и другими твердыми частицами не повредить, не поцарапать поверхности глазури.

Во всех случаях после чистки изоляторов каким-нибудь веществом (керосин, мыло, кислота или др.) нужно промыть изолятор чистой водой, чтобы смыть с поверхности все остатки моющего вещества.

На подстанциях, где имеются устройства для обмывки изоляторов струей воды из брандспойта, конденсаторы связи можно промывать так же, как и все оборудование, без снятия напряжения. Работу эту может производить только специально обученный персонал.

После очистки фарфоровой рубашки ее тщательно осматривают, проверяя, не обнаружились ли на поверхности фарфора новые трещины. Осмотр нужно выполнять очень внимательно, не пропуская мелких, «волосяных» трещин. Если возникают сомнения, можно воспользоваться лупой или попытаться обнаружить трещину, поскребывая ногтем подозрительное место.

В состав текущего ремонта входит подтягивание всех крепящих болтов оборудования, установленного на опоре конденсатора связи. Проверку и подтяжку крепящих болтов проводят гаечными или разводными ключами без применения усиливающих надставок. Если болт или шпилька оказываются затянутыми достаточно, то дополнительно его подтягивать уже не следует. Проверяют также затяжку болтов, крепящих крышки конденсаторов к крепящему кольцу, и также подтягивают их при необходимости. Проверяют и подтягивают крепящие болты заземляющего ножа и фильтра присоединения. Проверяют целость всех подсоединений заземления к аппаратам, установленным на опоре.

Особенно тщательно нужно проверять затяжку контактов, затяжку болтов и регулировку заземляющего ножа и привода к нему (там, где он имеется). Регулировка заземляющего ножа должна быть выполнена так, чтобы исключить всякую возможность произвольного выпадания подвижной части из контактных губок и обеспечить надежный электрический контакт. От надежности заземляющего ножа зависит безопасность людей, которые будут потом работать на защищаемом оборудовании.

В процессе текущего ремонта можно попытаться устранить небольшую течь масла из-под крышки (верхней или нижней) конденсатора. Для этого насухо вытирают просочившееся масло и, наблюдая за поверхностью конденсатора, определяют точно место течи. Если масло подтекает из промежутка между стальной крышкой и фарфоровой покрышкой, то можно предположить, что резиновая прокладка затянута недостаточно плотно. В таком случае осторожно, как это было указано ранее,

по всей окружности крышки подтягивают болты между крышкой и кольцом. После этого вновь насухо вытирают потеки масла и проверяют, продолжается ли течь. Если течь не устраняется, то поврежденный элемент демонтируют и исправляют или заменяют дефектные детали уже в мастерской с вскрытием элемента.

Вскрытие элемента конденсатора разрешается только в сухом помещении, при температуре $20 \pm 5°$ С и на срок не более 15 *мин*. Все операции по вскрытию элемента конденсатора производят по заводской инструкции.

Металлические части элемента конденсатора и опорной конструкции или отдельные места на них, потерявшие окраску, зачищают до металла и вновь окрашивают. Зачищают и окрашивают и те места, где краска не отвалилась, но уже вспучилась.

Текущие ремонты конденсаторов обычно приурочивают к ремонту всего оборудования данного присоединения, чтобы сократить количество и время отключения линии электропередачи. В отдельных случаях, только если конденсатору что-нибудь угрожает, текущий ремонт его выполняется вне очереди, без связи с текущими ремонтами всего присоединения.

В общем случае периодичность или необходимость текущих ремонтов устанавливает главный инженер электросети или электростанции.

О содержании текущего ремонта и состоянии, в котором был перед ремонтом конденсатор, делается запись в журнале ремонтов или в паспорте конденсатора

Измерения. В нормальных условиях, при осмотрах, производимых достаточно внимательно, при доброкачественном выполнении текущих ремонтов конденсаторы связи и отбора мощности могут нормально служить много лет, изменяя свои электрические свойства лишь весьма незначительно. Поэтому контрольные эксплуатационные измерения проводят сравнительно редко — 1 раз в 3 года. В объем эксплуатационных измерений входят: измерение сопротивления изоляции, электрической емкости всех элементов конденсатора и измерение угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$. Испытания повышенным напряжением в эксплуатационных условиях не проводят.

Все измерения конденсаторов связи выполняют при отключенной линии электропередачи и отсоединенном спуске от фазного провода линии электропередачи к верхней крышке верхнего элемента конденсатора.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром напряжением 2 500 *в* в течение 1 *мин*. Как и при приемосдаточных испытаниях, величина сопротивления изоляции не нормируется.

Измерением проверяют только целость изоляции между обкладками конденсатора

Действительное состояние изоляции конденсатора определяют измерением угла диэлектрических потерь, а состояние схемы внутренних соединений—измерением емкости конденсатора. Поэтому при текущих ремонтах угол диэлектрических потерь и электрическую емкость конденсатора обязательно измеряют.

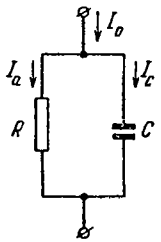

Рис. 29. Эквивалентная схема конденсатора связи.

Что такое угол диэлектрических потерь? На рис. 29 приведена схема, в которой отражены все электрические свойства конденсатора. В самом деле, кроме емкости C, конденсатор обладает и сопротивлением изоляции R. В сопротивление R в нашей схеме входят несколько сопротивлений: сопротивление изоляции фарфоровой покрышки, сопротивление изоляции в конденсаторных секциях и других деталях элемента. Кроме того, сопротивление R учитывает и другие свойства конденсатора, которые имеют общее название потерь в изоляции и ухудшают его качество. Ток I_0, подходящий к конденсатору, делится, как видно из схемы, на ток I_c, проходящий через емкость, и ток I_a, проходящий через сопротивление R. Ток I_a – вредный ток, увеличивается при ухудшении свойств конденсатора (уменьшение сопротивления R). Очевидно, что ток I_a представляет собой ток потерь, бесполезно проходящий через конденсатор, и характеризует качество его изоляции.

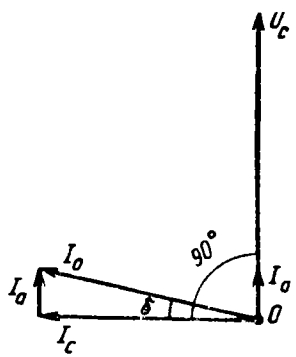

Рис. 30. Диаграмма токов в цепи с конденсатором связи.

Так как непосредственно измерить ток I_a трудно, определение качества изоляции конденсатора производится косвенным путем. Этот способ становится ясным,

если рассмотреть диаграмму (рис. 30) токов и напряжений, действующих в цепи конденсатора. Напряжение на этой диаграмме обозначено буквой U_c. Ток, протекающий через емкость конденсатора, обозначен I_c и опережает напряжение на 90°. Ток потерь в изоляции конденсатора I_a направлен так же, как и напряжение под углом 90° к току I_c. Общий ток I_0, являющийся геометрической суммой токов I_a и I_c, направлен относительно тока I_c под некоторым углом δ, который и называется углом диэлектрических потерь. Обычно измеряют не угол δ, а тангенс этого угла tg δ. Определить его можно как

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{P}{UI_c},$$

где P — мощность, протекающая через конденсатор.

Величину tg δ часто выражают в процентах:

$$\operatorname{tg}\delta\,\% = \frac{I_a}{I_c}\,100 = 100\operatorname{tg}\delta.$$

Увеличение измеренной величины tg δ указывает на общее ухудшение состояния изоляции, не определяя части конденсатора, за счет которой это ухудшение произошло.

Величина tg δ определяется только отношением токов I_a и I_c и не зависит от величины измерительного напряжения и величин токов I_a и I_c. Измерение угла диэлектрических потерь производят специальными измерительными мостами при повышенном напряжении. Это напряжение для конденсаторов защиты, связи и отбора мощности не превышает 10 *кв*.

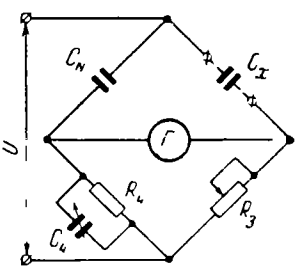

Рис. 31. Схема измерительного моста.

R_3 — переменное сопротивление;
C_4 — переменный конденсатор;
C_N — эталонный конденсатор;
C_x — измеряемый конденсатор;
Γ — гальванометр; U — питающее напряжение.

Одновременно с tg δ на тех же измерительных мостах изменяют и рабочую емкость элементов конденсаторов.

Схема измерительного моста показана на рис. 31. На схеме U — повышенное напряжение (10 *кв*), питающее R_3 и C_4 переменные сопротивление и конденсатор, посредством которых настраивают мост, C_N —

эталонный конденсатор, R_4 — постоянное сопротивление. Индикатором настройки моста служит гальванометр $Г$, C_x — измеряемый конденсатор. Изменяя величины сопротивления R_3 и конденсатора C_1, приводят мост в равновесие, устанавливая на гальванометре $Г$ наименьшее показание. Уравновесив мост таким образом, можно считать, что

$$\operatorname{tg}\delta = \omega R_4 C_1, \text{ а } C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N,$$

где ω — круговая частота, равная при 50 *гц* 314.

На рис. 32,*а* показана наиболее удобная и распространенная принципиальная схема соединения приборов при измерении. Основное достоинство этой схемы заключается в том, что измерительный мост в ней находится под низким напряжением в отличие от схемы на рис. 32,*б*, где измерительный мост и вся проводка к нему оказываются под высоким напряжением. Схема на рис. 32,*а* может широко применяться, так как включение измерительного моста между конденсатором и землей не представляет технических трудностей.

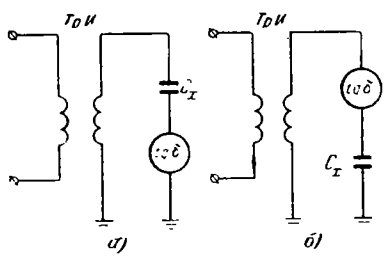

Рис. 32. Схема измерения tg δ и емкости конденсаторов связи при высоком напряжении.

а — нормальная; *б* — перевернутая; *ТрИ* — измерительный трансформатор; C_x — измеряемый конденсатор связи; tg δ — измерительный мост.

На рис. 33 показана схема питания всей установки для измерения tg δ и емкости элемента конденсатора.

Мощность испытательного трансформатора *ТрИ* в схеме на рис. 33 зависит от измеряемой емкости и испытательного напряжения. В табл. 6 указаны мощности, необходимые для измерения различных конденсаторов. Обычно в качестве трансформаторов используют трансформаторы напряжения типа НОМ-6 мощностью 0,8 *ква* и НОМ-10 мощностью 1,5 *ква*. Эти трансформаторы допускают кратковременное повышение напряжения в 1,5—1,7 раза.

Действующее в измерительной схеме напряжение определяют по показанию U_1 вольтметра V, умноженному на коэффициент трансформации K трансформатора напряжения *ТрИ*.

Таблица 6

Мощность измерительных трансформаторов (наименьшая)

Тип элемента конденсатора	Предел измеряемой емкости, *мкф*	Мощность, *ква*, при испытательном напряжении, *кв*		
		5	10	20
СМР-55/$\sqrt{3}$-0,0044; СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0022; СМР-70-0,0044	Менее 0,01	0,08	0,3	1,25
СМР-110/$\sqrt{3}$-0,0064; СМР-133/$\sqrt{3}$-0,0186; СМР-166/$\sqrt{3}$-0,014; ОМР-15-0,107; ОМРЗ-30-0,087; ОМРЗ-35-0,0535	0,01—0,1	0,8	3,0	12,5

Пример 10. В измерительной схеме применен трансформатор напряжения НОМ-10. Нужно определить действующее напряжение U и наибольшее напряжение, которое можно получить с этим трансформатором. Показание вольтметра: $U_1=60$ *в*. Находим коэффициент трансформации $p=10\,000:100=100$; действующее напряжение $U=U_1p=60\cdot100=6\,000$ *в*$=6$ *кв*. Максимальное допустимое напряжение $U_д$ равно:

$$U_д=U_н\cdot1{,}5=10\,000\cdot1{,}5=15\,000\ в=15\ кв.$$

В качестве регулирующего аппарата используют потенциометр *РН* или регулируемый автотрансформатор

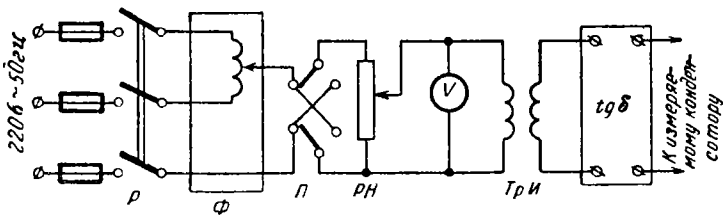

Рис. 33. Полная схема питания измерительной установки.

Р — рубильник; *Ф* — фазорегулятор; *П* — переключатель; *РН* — регулятор напряжения; *ТрИ* — измерительный трансформатор высокого напряжения; tg δ — измерительный мост.

достаточной мощности, например типа ЛАТР-1. Применять для регулирования напряжения реостат или дроссель не разрешается.

В процессе измерений могут возникнуть значительные погрешности, вызванные появлением паразитных токов, образуемых испытательным напряжением. Паразитные токи протекают по поверхности изоляции измерительных приборов, если эта поверхность загрязнена, по грязным деталям измеряемых аппаратов, через плохую изоляцию соединительных проводов, через емкости между деталями аппаратов и проводами и другими путями. Эти пути, состоящие из сопротивлений r и емкостей c,

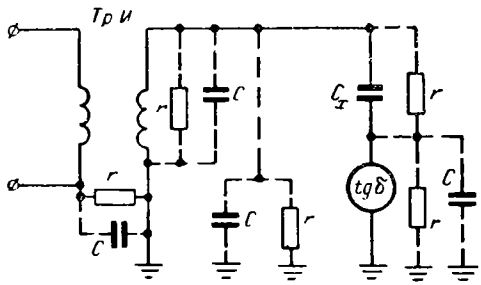

Рис. 34. Схема образования путей паразитных токов.

ТрИ — измерительный трансформатор; C_x — измеряемый конденсатор; tg δ — измерительный мост; c — паразитная емкость; r — паразитное сопротивление.

показаны пунктиром на рис. 34. Для получения правильных результатов измерений нужно, чтобы все части измерительной схемы и измеряемый конденсатор связи были совершенно чисты, а соединительные провода имели вполне исправную изоляцию. Снижения искажений результатов измерений от паразитных емкостей достигают удачным расположением приборов в схеме измерений и специальными мерами, которые принимают при конструировании измерительной аппаратуры.

Измерение угла диэлектрических потерь желательно производить при температуре $20 \pm 5°$ С, во всяком случае не ниже чем $+5°$ С. При более низких температурах свойства изоляции изменяются, проводимость ее уменьшается и результаты измерений будут заведомо неправильны. Если обстоятельства складываются так, что измерения производить обязательно, а наружная температура ниже $+5°$ С, то измерения проводят, но повторяют их вновь немедленно при наступлении теплой погоды.

В некоторых случаях бывает целесообразно демонтировать конденсатор, прогреть его в мастерской или тепляке при положительной температуре не менее суток и там же произвести измерения угла диэлектрических потерь и емкости.

Наиболее благоприятна для измерений сухая погода с температурой 15—25° С.

До начала измерений фарфоровую покрышку изолятора очень тщательно очищают, чтобы грязь на ее поверхности не исказила результатов измерений. Грязь на поверхности фарфоровой покрышки обычно имеет некоторые свойства проводника, и измеренный при грязной покрышке угол диэлектрических потерь будет больше, чем у конденсатора с чистой покрышкой.

Располагая измерительную установку у опорной конструкции конденсатора, стремятся сделать соединительные провода возможно короче. Особенно существенно сокращение длины проводов, соединяющих измерительный мост с испытуемым конденсатором. Нужно обеспечить хорошее освещение шкал измерительных приборов и надежное ограждение места измерений. Нужно помнить, что измерения выполняются при напряжении 10 *кв* и больше и к измерительной установке относятся все правила техники безопасности при работе на установках с напряжением выше 1 000 *в*. Условия работы на установке для измерения $\operatorname{tg}\delta$ с точки зрения правил техники безопасности подробно рассмотрены в § 5.

Если во время измерения в самой установке или на измеряемом конденсаторе появятся ненормальные явления — искрение или др., всю установку немедленно отключают и любые переключения в ней производят при отключенном источнике питания и заземленном конденсаторе связи.

После включения установки напряжение на ней поднимается не сразу. Примерно до $^1/_3$ номинального значения напряжение может быть включено толчком или поднято очень быстро. Далее до рабочего значения напряжение поднимается постепенно, с такой скоростью, при которой можно отсчитывать промежуточные значения на шкале вольтметра *V*.

Каждое измерение обычно повторяют 4 раза: при двух различных фазах, переключаемых переключателем *П*, при двух направлениях тока через конденсатор при каждой фазе. Результат измерения получают как сред-

нее арифметическое из четырех измерений. Обозначив каждую из измеренных величин как δ_1, δ_2, δ_3, δ_4, среднее арифметическое находят так:

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4}{4}.$$

Вновь вводимые элементы конденсаторов типов СМР-55/$\sqrt{3}$ и СМР-70/$\sqrt{3}$ должны иметь tg δ не более 0,4%, а элементы конденсаторов типов СМР-133/$\sqrt{3}$ и типа ОМР должны иметь tg δ не более 0,3%.

Согласно инструкции оборудование, в том числе и элементы конденсаторов, с номинальным напряжением 10 *кв* и выше измеряют при напряжении не выше 10 *кв*. Если на подстанции отсутствует необходимый трансформатор напряжения и привезти его затруднительно, инструкция допускает производство измерений и при низком напряжении.

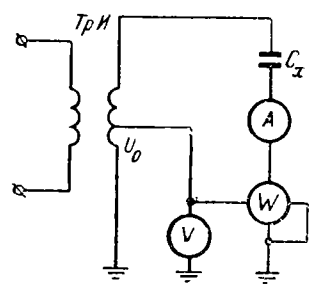

Рис. 35. Схема измерения угла диэлектрических потерь и емкости конденсатора с помощью ваттметра.

ТрИ — измерительный трансформатор; *А* — амперметр; *W* — ваттметр; *V* — вольтметр; C_x — измеряемый конденсатор.

Элементы конденсаторов, не удовлетворяющие нормам, в эксплуатацию не принимают, а отправляют в ремонт.

Большие изменения емкости элемента конденсатора бывают при внутренних неисправностях. Увеличение емкости может явиться следствием пробоя (короткого замыкания) нескольких конденсаторных секций. Уменьшение емкости бывает результатом обрыва в каком-нибудь из пакетов между конденсаторными секциями.

Причины изменения емкости конденсатора при повреждении его внутренних элементов становятся ясными при рассмотрении схемы, показанной на рис. 8,*а*, и расчета, приведенного в § 2.

В самом деле, при замыкании обкладок одной или нескольких секций общее количество последовательно включенных секций в пакете уменьшается и емкость пакета возрастает. Это соответствует приведенной в тексте формуле, согласно которой емкость пакета прямо про-

порциональна емкости одной секции и обратно пропорциональна количеству секций в пакете.

Обрыв в одном из пакетов уменьшает общее количество параллельно соединенных емкостей (пакетов) и уменьшает емкость группы с поврежденным пакетом. Уменьшается емкость конденсатора в целом.

Точно определить причину неисправности элемента конденсатора и устранить эту неисправность можно только после вскрытия конденсатора в мастерской.

В эксплуатационных условиях, если специальный измерительный мост отсутствует, измерения емкости и угла диэлектрических потерь можно производить с помощью ваттметра по схеме, изображенной на рис. 35. Измерение с помощью ваттметра обладает несколько большей погрешностью, чем измерения со специальными мостами, однако с точностью, достаточной для эксплуатационных измерений.

Для измерений необходимы: ваттметр W, амперметр A и вольтметр V, измеряющий напряжение, подведенное к ваттметру.

Подсчет результата измерений угла диэлектрических потерь производят по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{P}{UI_c},$$

где P — мощность, измеренная ваттметром W, *вт*;
U — напряжение, измеренное вольтметром V, *в*;
I_c — ток, проходящий через испытываемый конденсатор C_x и ваттметр W.

Формула действительна, если $\delta \leqslant 10°$, т. е. практически во всех случаях эксплуатационных измерений.

В процессе тех же измерений определяют и емкость конденсатора C_x, которую рассчитывают по формуле

$$C_x = \frac{I_c}{\omega U_0},$$

где I_c — ток, проходящий через конденсатор C_x и ваттметр W, *ма*;
U_0 — напряжение, при котором производится измерение, *кв*;
ω — круговая частота, при 50 *гц* равная 314.

Изменяются при эксплуатационных измерениях обстановка и условия, в которых приходится действовать и персоналу и измерительной аппаратуре. Объясняется это следующим. Приемо-сдаточные испытания и измере-

ния в большинстве случаев производят на еще обесточенной подстанции. Эксплуатационные измерения выполняют в условиях действующей подстанции, в окружении аппаратов и шин, находящихся под высоким напряжением (киловольты) при весьма больших протекающих через них токах (килоамперы). Это усложняет порядок производства измерений и вынуждает применить ряд дополнительных мер для обеспечения точности измерений и безопасности персонала и аппаратов.

На действующей подстанции, несущей нагрузку, всегда имеются значительные электростатические и электромагнитные поля, которые наводят в соединительных проводах и приборах измерительной установки токи и напряжения, искажающие показания приборов и результат измерений.

Влияние внешних измерительных полей можно снизить, выбрав удачное место для размещения измерительной установки, применяя для внешних соединений экранированные провода и специальные экранированные приборы.

Регулярным проверкам подвергаются и сами измерительные приборы. Для этого устанавливаются специальные графики.

В эксплуатационных условиях емкость элементов конденсаторов может отклоняться от емкостей, зафиксированных при приемо-сдаточных испытаниях. Однако отклонения не должны превышать +10% у элементов конденсаторов типов СМР-55/$\sqrt{3}$ и СМР-70/$\sqrt{3}$ и (+2)—(—1,5) % у элементов конденсаторов СМР-133/$\sqrt{3}$, ОМР-30 и ОМР-35.

Эксплуатировавшиеся элементы конденсаторов могут иметь тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ не более 1% для всех типов конденсаторов.

Обнаруженные при измерениях элементы конденсаторов с изменением электрических параметров более, чем это допустимо нормами, в ближайшее же время должны быть демонтированы и отправлены в капитальный ремонт. Оставлять в эксплуатации такие конденсаторы недопустимо.

Эксплуатационные измерения должны производиться всякий раз в то же время года и месяцы, что и предыдущие. Желательно, чтобы для измерений были выбраны дни со сходными метеорологическими условиями, особенно с такой же температурой. Это необходимо для

точных сравнений результатов измерений, проведенных в текущем году и 3 года тому назад при предыдущих измерениях.

Все изменения электрических параметров элементов конденсаторов вносятся в паспорт конденсаторов и в паспорты каналов высокочастотной защиты и высокочастотной связи. Это последнее необходимо, так как в некоторых случаях при изменении параметров конденсаторов может понадобиться дополнительная регулировка аппаратуры каналов высокочастотных защит и связи.

Капитальные ремонты. По мере необходимости, при выходе из строя или потере необходимых электрических свойств, элементы конденсаторов подвергаются капитальным ремонтам. Такие работы выполняют только в приспособленных помещениях, при постоянной положительной температуре, при наличии запаса свежего сухого конденсаторного масла или регенерационной установки и других аппаратов.

Капитальные ремонты, вскрытие элементов конденсаторов, заполнение их маслом и другие операции выполняют строго по специальным заводским инструкциям.

О факте выполнения капитального ремонта и о его содержании (что обнаружено, что выполнено при капитальном ремонте) делается запись в паспорте конденсатора.

После окончания капитального ремонта элемент конденсатора подвергают испытаниям и измерениям в полном объеме приемо-сдаточных испытаний и измерений. Только после них элемент можно вводить в эксплуатацию.

Инструкции. С поставляемыми элементами конденсаторов заводы-изготовители присылают инструкции по эксплуатации, сборке и монтажу конденсаторов, которыми следует руководствоваться в работе. В электросетях составляют местные эксплуатационные инструкции, согласованные с «Правилами технической эксплуатации электростанций и сетей».

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Общие соображения. Обслуживание конденсатора связи и непосредственно связанного с ним оборудования, находящегося на высоковольтной подстанции, нужно производить с соблюдением всех правил ведения работ, пред-

писанных техникой безопасности. Только точное выполнение этого условия оградит эксплуатационный персонал от несчастных случаев, а оборудование — от разрушения.

Поэтому персонал должен твердо знать и строго выполнять все условия безопасного ведения работ на конденсаторах связи при их обслуживании, при выполнении измерений и такелажных работах, связанных с эксплуатационными перемещениями элементов конденсаторов. Основным руководством по безопасному ведению работ являются «Правила техники безопасности при эксплуатации станций и подстанций».

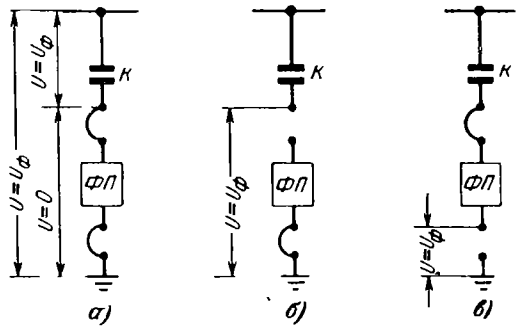

Рис. 36. Распределение потенциалов в цепи конденсатора связи.

а — нормальное; *б* — при разрыве между конденсатором связи и фильтром присоединения; *в* — при разрыве между фильтром присоединения и землей.

Нельзя забывать, что верхняя обкладка конденсатора находится под полным фазным напряжением линии электропередачи. Введенный в работу конденсатор связи является элементом цепи между одной из фаз линии электропередачи и землей. В этой цепи, кроме конденсатора связи, участвует фильтр присоединения или аппаратура отбора мощности, как об этом было сказано в § 1. Таким образом, между верхней обкладкой конденсатора связи и землей действует полное фазное напряжение линии электропередачи, равное линейному напряжению, деленному на $\sqrt{3}$.

Фильтр присоединения представляет для токов промышленной частоты (50 *гц*) очень маленькое сопротивление, и падение напряжения на нем настолько невелико, что его в общей цепи с конденсатором можно не учитывать. Практически нижнюю обкладку конден-

сатора можно считать заземленной, потенциал ее относительно земли считать равным нулю, а все фазное напряжение—падающим на конденсатор связи (рис. 36,*а*).

Если фильтр присоединения отключить от нижней обкладки конденсатора связи, то она окажется изолированной от земли, ток через конденсатор связи прекратится, падение напряжения на нем станет равным нулю и его нижняя обкладка окажется под полным фазным напряжением линии электропередачи относительно земли (рис. 36,*б*). Практически то же самое распределение потенциалов будет и при обрыве цепи 50 *гц* внутри фильтра присоединения или между фильтром присоединения и землей (рис. 36,*в*).

Из рассмотренных схем ясно, что при обрыве цепи, в которой участвуют фаза линии электропередачи — конденсатор связи — фильтр присоединения — земля, в схеме возникают напряжения, опасные для жизни обслуживающего персонала. Такие обрывы могут произойти неожиданно и даже незаметно как с течением эксплуатации, так и во время осмотров и наладочных работ на фильтре присоединения. Поэтому работы без замкнутого заземляющего ножа на конструкции конденсатора запрещены.

Из соображений механической прочности для повышения безопасности выполнения работ выбраны и сечения монтажных проводов (не менее 50 *мм*^{2}) и их длина (1,5 *м* до фильтра присоединения и 0,5 *м* до заземляющего ножа). Чем короче и чем прочнее провод, тем надежнее соединение. Из этих же соображений следует регулировать и очищать заземляющий нож так тщательно, чтобы обеспечить надежное заземление конденсатора при работе людей на фильтре присоединения или устройстве отбора мощности. Для того чтобы исключить возможность случайного прикосновения человека к нижней обкладке конденсатора при обрыве фильтра присоединения, конденсатор поднимают на его конструкции на такую высоту, которой нельзя достичь без лестницы или случайно поскользнувшись и взмахнув при этом рукой.

Выполняя работы на конденсаторе связи или на аппаратуре, расположенной на его конструкции, нужно так располагать инструмент, такелажные приспособления и другие предметы, чтобы не коснуться и даже не приблизиться к токоведущим частям присоединений,

если они находятся под напряжением. Случайное прикосновение к ним может привести к несчастному случаю. Малое расстояние между рукой или ногой человека, инструментом, приспособлением и токоведущей частью, находящейся под напряжением, может быть перекрыто по воздуху и также послужить причиной несчастного случая. Правилами техники безопасности установлены допустимые минимальные расстояния от места выполнения работ до токоведущих частей, находящихся под напряжением. Эти расстояния приведены в Правилах.

Меры безопасности при ремонтных работах. Кроме мер безопасности, заложенных в схеме и конструкции всего присоединения конденсатора, при выполнении работ принимаются дополнительные меры безопасности. Прежде всего эксплуатационный персонал обязан твердо знать, какую работу он должен выполнять и в каких условиях, отключается ли вся линия электропередачи со всем ее оборудованием или работы выполняются у неотключенного конденсатора, например, на его конструкции. Все эти сведения должны быть сообщены электромонтерам во время инструктажа и вписаны в наряд на производство работ, в котором указываются содержание работы, условия выполнения работ, принятые меры безопасности и фамилии лиц, участвующих в работе.

На месте выполнения работ на элементы, обычно находящиеся под напряжением, после их отключения накладывается заземление, ясно видимое с места производства работы. Порядок наложения и снятия заземления следующий. При наложении заземления его провод одним концом сначала подключается к шине заземления, а потом другим концом с помощью изолирующей штанги накладывают на участок, с которого снято напряжение.

Снятие заземления производится в обратном порядке — сначала провод снимают с заземляемого элемента и уже после этого отключают от «земли». Использовать для заземления случайный провод и присоединять его, привязывая к шине заземления, запрещается, так как внутренний обрыв в изолированном проводе или плохой контакт у места, где он привязан, могут привести к потере заземления и несчастному случаю. Подсоединять заземление нужно только специальными струбцинами, приваренными или припаянными к проводу. Для подсое-

движения струбцины на шине заземления или на опорной конструкции конденсатора должен быть оставлен незакрашенный участок металла.

Плакаты «Не включать—работают люди» вывешивают на всех ключах управления, приводах разъединителей и всех других органах управления аппаратами, которыми может быть подано высокое напряжение на место производства работ. На всех ограждениях, соседних с рабочим местом, присоединениях, остающихся под напряжением, вывешиваются плакаты «Стой — высокое напряжение».

Меры безопасности при измерениях. При измерениях угла диэлектрических потерь принимают дополнительные меры безопасности. Учитывая, что все измерения выполняются при высоком напряжении, обычно 10 *кв*, принимаемые меры направлены на исключение возможности поражения людей, выполняющих измерения. Из этих соображений все операции по сборке, разборке и проверке измерительной схемы разрешается производить только при отключенном рубильнике электропитания схемы. Сам рубильник электропитания располагают так, чтобы было хорошо видно, включен он или выключен, а ручка рубильника была бы легко доступна для отключения. Все точки схемы, подлежащие заземлению, должны быть заземлены так, чтобы заземления были хорошо видны и достаточно надежны.

Провода заземления, так же как и все провода, из которых собирают схему измерений, должны иметь исправную изоляцию на 10 *кв* и сечение не менее 2,5 *мм*^{2}. Желательно, чтобы были применены однопроводные многопроволочные (гибкие) провода, например марки ПВЛ.

Стол, на котором устанавливают приборы, участвующие в схеме, должен быть достаточно прочным и устойчивым. Приборы на столе нужно располагать так, чтобы для наблюдения за их показаниями не нужно было приближаться к элементам схемы, несущим питающее и высокое напряжение, нагибаться над этими элементами и т. п.

Место, где расположена испытательная схема, ограждается. За ограждение могут проходить только два лица, производящие измерения. На ограждении вывешиваются плакаты «Осторожно — высокое напряжение».

Между частями установки, заземленными предметами и токоведущими частями подстанции, остающимися под напряжением, должны сохраняться расстояния не меньше приведенных в табл. 7 при измерительном напряжении 10 *кв*.

Таблица 7

Расстояние от частей измерительной установки, *см*

До земли и заземленных предметов	До токоведущих частей распределительного устройства, находящихся под напряжением, *кв*					
	До 10	10—35	60—110	154	220	440
5	25	35	95	135	195	350

Примечание. Измерительное напряжение 10 *кв*.

Измерять сопротивление изоляции конденсаторного элемента мегомметром можно лишь на конденсаторе, отключенном от линии электропередачи. Нельзя забывать, что напряжение мегомметра тоже высокое и равно 2 500 *в*. Всякое измерение мегомметром 2 500 *в* следует производить в присутствии второго лица.

Меры безопасности при такелажных работах. С наименьшими затратами труда конденсатор связи можно демонтировать или смонтировать, используя автокран. Однако, выбирая трассу для проезда автокрана, нужно внимательно следить за тем, чтобы конец стрелы автокрана не только не коснулся токоведущих частей, но и не приблизился бы к ним на расстояние, большее чем показано в табл. 8. Нельзя считать, что резиновые покрышки на колесах автокрана предохраняют его от аварий. Расстояние между металлической частью колеса и землей очень мало, а резиновые покрышки всегда покрыты грязью или пылью. Металлические части автокрана нужно считать заземленными.

Таблица 8

Минимальные расстояния от наиболее выступающих частей (габаритов) автокрана до токоведущих частей

Напряжение, *кв*	35	110	154	220	330	400—500
Расстояние, *м*	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0

Используя автокран или монтажную стрелу, нельзя забывать о правилах безопасного выполнения такелажных работ. Первым и основным условием безопасности является применение исправных, проверенных и испытанных канатов и строп, не имеющих оборванных прядей или много оборванных нитей, с правильно заделанными концами. Нельзя канаты или стропы просто завязывать узлом. Узлы под влиянием груза могут оттянуться или развязаться, а если канат плохой и не соответствует грузу, он может оборваться. Нельзя обвязывать конденсаторы или укреплять за монтажные кольца проволокой. Проволока легко оттягивается, и крепление ослабевает.

Во всех таких случаях элемент конденсатора высвобождается из крепящих приспособлений и падает, угрожая жизни людей, и разбивается.

Основным условием безопасности ведения таких работ является правило: «Не разрешается кому бы то ни было находиться под поднятым грузом, а также в зоне опускания стрелы при работе стреловым краном».

ЛИТЕРАТУРА

1. Конденсаторы связи и конденсаторы отбора мощности отечественного производства, Бюро технической информации ОРГРЭС, 1962.

2. Куликов В. В., Монтаж аппаратуры высокочастотных каналов по линии электропередачи, Госэнергоиздат, 1959.

3. Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей, изд-во «Энергия», 1965.

4. Сви П. М., Измерение диэлектрических потерь в изоляции высокого напряжения, Госэнергоиздат, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Назначение и область применения . . . 3
2. Конструкция конденсаторов 10
3. Монтаж конденсаторов 25
4. Эксплуатация конденсаторов 43
5. Техника безопасности 59
Литература . . . . . 3-я полоса обл.

Цена 13 коп.